

Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre

Una Guía para Tomadores de Decisiones

**Evelia Rivera-Arriaga, Isaac Azuz-Adeath,
Omar D. Cervantes Rosas, Alejandro Espinoza-Tenorio,
Rodolfo Silva Casarín, Alfredo Ortega-Rubio,
Alfonso V. Botello y Beatriz E. Vega Serratos**

Editores



Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre

Una Guía para Tomadores de Decisiones

Evelia Rivera-Arriaga, Isaac Azuz-Adeath,
Omar D. Cervantes Rosas, Alejandro Espinoza-Tenorio,
Rodolfo Silva Casarín, Alfredo Ortega-Rubio,
Alfonso V. Botello y Beatriz E. Vega-Serratos

Editores



Rivera-Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, O. D. Cervantes Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. Silva Casarín, A. Ortega-Rubio, A. V. Botello y B. E. Vega-Serratos (eds.), 2020. Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones. Universidad Autónoma de Campeche, RICOMAR. 894 p.

© Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX)
Universidad Autónoma de Campeche

Red Internacional de Costas y Mares (RICOMAR)

ISBN 978-607-8444-58-8

doi 10.26359/epomex.0120

Contenido

Directorio de participantes

PARTE 1. GOBERNANZA ADAPTATIVA

- | | |
|---|----|
| 1. Diseño de la gobernanza costera
<i>E. Rivera-Arriaga y L. E. Vidal Hernández</i> | 3 |
| 2. Análisis y evaluación gubernamental de mares y costas en México: hacia una evaluación integral
<i>M. García Chavarría, G. Enríquez y E. Rivera-Arriaga</i> | 27 |
| 3. Formación educativa para los gestores en la solución de problemas en las áreas costeras de México. Entre la formación en programas de licenciatura y los programas de posgrado o especialidad
<i>L. Vidal-Hernández, P. Guadarrama, M. C. Arredondo-García, I. Espejel, E. Rivera-Arriaga y M. Mascaró</i> | 47 |
| 4. Resiliencia costera: elementos para su instrumentación
<i>A. V. Balderas Cordero, J. I. Euan Avila y C. León</i> | 71 |
| 5. Gobernanza ambiental ante el cambio climático: municipios costeros de México
<i>G. Seingier, I. Espejel y O. Jiménez-Orocio</i> | 93 |

- 6. Elementos para la gobernanza del agua ante la vulnerabilidad a la sequía y el cambio climático: cuencas hidrológicas con destino turístico de Baja California Sur** 117
G. Seingier, J. C. Graciano, O. Jiménez-Orocio, M. Hallack e I. Espejel
- 7. Adaptabilidad y transformaciones en el lago de Chapala. Retos para la gobernanza y el manejo de los cuerpos de agua epicontinentales** 139
C. Pedroza Gutiérrez y A. Sandoval Moreno
- 8. Frente a la variabilidad del clima: riesgo y vulnerabilidad en las zonas costeras** 155
M. Andrade-Velázquez
- 9. Análisis comparado de los impactos económicos y sociales ante el cambio climático en municipios costeros del noreste del golfo de México** 169
R. Tovar Cabañas, R. C. Vargas Castilleja, J. C. Rolón Aguilar y J. Treviño Trujillo
- 10. Playas recreativas de México: vulnerabilidad y gestión** 193
J. A. Arreola Lizárraga, G. García Morales, C. Esmeralda León López y A. Ortega Rubio
- 11. Situación jurídica para el manejo de los ecosistemas arrecifales de México** 221
J. Santander-Monsalvo, M. Villada-Canela, M. L. Bello-Sánchez y L. Ortiz-Lozano
- 12. Energía limpia y uso del suelo en las costas mexicanas: escenarios y costo de oportunidad** 255
C. Vázquez-González, P. Moreno-Casasola y O. Jiménez Orocio
- 13. Las energías renovables en las costas** 277
E. Mendoza, P. Flores, J. Hernández-Fontes, G. Rivera, A. Félix y M. Escudero

- 14. Evaluación del impacto social de los proyectos de generación de energía eléctrica: propuesta metodológica para la construcción de los índices de la línea base** 293
C. Vázquez-González y F. F. Bonilla Fernández
- 15. Costos ambientales y económicos no internalizados por la generación de energía eléctrica limpia: servicios ecosistémicos vs condicionantes ambientales** 315
C. Vázquez-González, C. Martínez González, J. González Mora y J. D. Tadeo Vara
- 16. Las dunas costeras y ZOFEMAT: un vínculo necesario para fortalecer la gestión de las costas** 331
O. Cervantes, U. Urrea-Mariño, A. López-Urban, S. Cortina-Segovia, Y. Ventura Díaz y E. Quiroz Villanueva
- 17. Experiencias sobre la gestión sustentable de las costas y playas de isla Cozumel, México** 355
O. Frausto Martínez
- 18. Plásticos y basura en las zonas costeras y los océanos** 375
A. V. Botello, S. Villanueva F. y D. León N.
- 19. Análisis de vulnerabilidad y gestión de riesgo por inundación en áreas de cuencas** 395
V. Escamilla-Rivera, U. Castro Campos y G. J. Villalobos Zapata
- 20. Impacto socioambiental de la erosión costera. El caso de Chiapas** 413
V. Castro-Castro
- 21. Panarquía: propuesta de análisis de la dinámica costera de Tabasco ante el cambio global** 427
L. Gama Campillo, M. E. Macías-Valadez, C. J. Pacheco-Figueroa, R. A. Collado-Torres, E. Mata-Zayas, H. M. Díaz-López, J. D. Valdez Leal, S. Arriaga Weiss y L. J. Rangel-Ruíz

- 22.** Vulnerabilidad y riesgo socioambiental en localidades del Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche, México 449
M. Frutos C., E. Solano Palacios, R. Martínez B., e I. G. Escobar
- 23.** La Agencia Mexicana de Mares y Costas: estrategia para el desarrollo socioeconómico de los mares y costas mexicanas 475
J. R. Lara Lara
- 24.** Reducción del riesgo por desastres: breve descripción del FOPREDEN y el FONDEN en el contexto del modelo FMPEIR y de la gobernanza 495
C. Vázquez-González
-

PARTE 2. GOBERNANZA AMBIENTAL

- 25.** La variabilidad climática en las zonas costeras 507
I. Azuz-Adeath
- 26.** Ecosistemas costeros complejos 517
I. Azuz-Adeath, L. Rodríguez-Cardózo y H. Alonso-Peinado
- 27.** Ecosistemas marinos complejos 531
I. Azuz-Adeath, L. Rodríguez-Cardózo y H. Alonso-Peinado
- 28.** Importancia del monitoreo costero para la construcción de la resiliencia 543
A. Ruiz de Alegría-Arzaburu y G. Medellín

- 29. Anomalías climáticas futuras en una cuenca hidrológica costera del Golfo de México: impacto de escenarios de cambio climático** 563
R. C. Vargas Castilleja, J. C. Rolón Aguilar, J. Treviño Trujillo y R. Tobías Jaramillo
- 30. Cambio temporal en los sedimentos de las playas del sur del estado de Campeche: una herramienta para la toma de decisiones** 581
R. Canul, E. Mendoza, G. Posada, G. Santos Martínez y F. E. Puc Cutz
- 31. Evaluación de inundación costera debido al incremento del nivel del mar en Ensenada, Baja California, México** 597
V. Fernández y R. Canul
- 32. Humedales costeros de agua dulce y bases para su gobernanza** 617
P. Moreno-Casasola, L. Aguirre-Franco, A. Campos C., C.O. Carral-Murrieta, E. Cejudo, R.M. González-Marín, M. González Nochebuena, M.E. Hernández, D. Infante-Mata, A. Lazos Ruíz, H. López-Rosas, R. Monroy I., I. Neri Flores, L.A. Peralta-Peláez, K. Rodríguez-Medina, L. Sánchez-Higuieredo, E.A. Sánchez-García, O. Sánchez-Luna, C. Vázquez-González y J. Vázquez-Benavides
- 33. Restauración ecológica de manglares de México** 649
J. A. Herrera-Silveira, C. Teutli-Hernández, P. A. Gómez Ruíz y F. Comín
- 34. Almacenes de carbono en los manglares de Centla, Tabasco, asociado a gradientes ambientales y grado de conservación** 675
C.M. Agraz Hernández, C. A. Chan Keb, J. Chavez Barrera, A.C Ruiz Fernandez, J.M. Labougle, J. Reyes Castellanos, K. P. Conde Medina, F. Escamilla Escamilla, L. Ángulo Padilla, S.J. Guzmán y J. Osti Sáenz
- 35. Biomarcadores: una herramienta para medir y predecir los efectos del cambio climático sobre los peces y su aplicación en la toma de decisiones** 699
R. Dzul-Caamal

- 36.** Pautas para la conservación y manejo de impactos ambientales en pastos marinos 717
J. A. Herrera-Silveira, S. M. Morales-Ojeda, J. E. Mendoza-Martínez, J. Ramírez-Ramírez y T. Cota Lucero
- 37.** El sargazo en el Caribe mexicano, revisión de una historia impensable 743
A. Uribe-Martínez, A. Guzmán-Ramírez, F. Arreguín-Sánchez y E. Cuevas
- 38.** Evaluaciones de impacto ambiental y su coincidencia con hábitats de tortugas marinas en la península de Yucatán, México 769
E. Cuevas, C. Díaz-Aguilar, M. Andrade Hernández y J. J. Guerra-Santos
- 39.** El papel de los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE) en el manejo y restauración de especies y ecosistemas del sureste de México 801
P. A. Gómez-Ruíz, S. Laffon-Leal, A. Delgado-Estrella y E. Cuevas
- 40.** Pesquerías y variabilidad ambiental vs gobernanza, algunas reflexiones 827
J. Ramos Miranda, L. A. Ayala Pérez, Y. Torres Rojas, F. Gómez Criollo y D. Flores Hernández
- 41.** Situación actual de conservación y manejo de meros y pargos en el sureste del golfo de México y mar Caribe Mexicano 855
A. Aguilar-Perera
- 42.** La necesidad en México de generar un marco regulatorio para el uso de aditivos probióticos en la acuicultura costera 879
M. C. Monroy Dosta y J. A. Ramírez Torrez

Prólogo

Los mares son elementos fundamentales del sistema climático de la Tierra. Sus capacidades para conducir y almacenar calor, para capturar, liberar y retener dióxido de carbono y otros gases, su papel en la regulación planetaria del ciclo hidrológico y de los flujos biogeoquímicos, junto con la superficie del planeta que ocupan y los procesos que acoplan con la atmósfera, son solo algunas de las características que más utilizamos para describir su influencia planetaria.

Sin embargo, las costas y los mares tienen muchas otras dimensiones y escalas de análisis. Contienen la mayor diversidad en especies y en ecosistemas, en minerales y en precursores de compuestos químicos. En las zonas marinas se realizan una inmensa variedad de actividades humanas de relevancia socioeconómica. Dos tercios de la población mundial viven en un radio de 60 km de los litorales. Las costas y los mares han sido fuente de alimentos, de trabajo, de disfrute y no pocas veces de esperanza frente a muy diversos problemas de la humanidad. Hace unas pocas décadas, nos enteramos de que cantidades masivas de desechos que se han vertido en los mares, provenientes de actividades industriales y domésticas, están alterando gravemente las condiciones para la vida en sus ecosistemas.

Para México, que tiene bajo su control más de tres millones de kilómetros cuadrados de superficie marítima, sus mares y costas siguen siendo el elefante en la cocina de la política pública territorial, ambiental, socioeconómica, administrativa, científica y cultural.

Es por ello que la publicación de *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la incertidumbre. Una guía para tomadores de decisiones*, reviste mucho interés. A lo largo de 894 páginas presentadas en dos partes, 141 autores de 52 instituciones y 16 estados de la república presentan estudios, reflexiones, dan opiniones y recomendaciones sobre diversos aspectos de lo que llaman en la *Parte 1 Gobernanza Adaptativa* y en la *Parte 2 Gobernanza Ambiental*. La literatura científica, técnica y académica sobre los ecosistemas marinos y costeros (y en menor medida los de aguas continentales) no es escasa en México. Se han dado también en diferentes momentos de la vida nacional, propuestas e intentos para clasificar, regular, ordenar y conciliar la actuación pública y privada en las zonas costeras y marinas de nuestro país. Ha habido avances, sin duda, pero no logramos aún tener la continuidad, la coordinación y la coherencia, ni geográficas ni temporales, entre los diferentes sectores, órdenes de gobierno y ordenamientos legales, que permitan manejar adecuadamente esta riqueza nacional.

La publicación, editada por la Universidad Autónoma de Campeche y por la Red Internacional de Costas y Mares (RICOMAR), fue coordinada por un experimentado grupo de investigadores del Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX).

Es una obra extensa y heterogénea en cuanto a temáticas y alcances. Los 42 trabajos o capítulos que presentan cubren revisiones de experiencias internacionales en gobernanza, estudios de erosión costera, meteorología y educación, desde gestoría costera hasta posgrado. Se expone también la problemática de los humedales epicontinentales, problemas socio-ecológicos y se analizan instrumentos de política para la conservación, manejo y restauración de especies y ecosistemas marinos. Tocaban también temas de introducción de energías limpias en zonas costeras, de pesquerías y acuicultura y temas actuales como el sargazo y los plásticos en costas y mares, resaltando la falta de información específica en este tema sobre los mares mexicanos. También se abordan escenarios e impactos del cambio climático y distintas posibilidades de adaptación.

Una especie de denominador común es la presentación de lecciones aprendidas y recomendaciones en términos de manejo y organización socio-ambiental. Aunque algunos de los instrumentos de política que mencionan no necesariamente están vigentes, los análisis y las reflexiones permiten aprovechar las experiencias.

Estamos, pues, ante un gran esfuerzo de la comunidad académica por dar un paso más hacia la atención y manejo integral de nuestras zonas costeras y marinas, destacando que la gobernanza, en un ambiente climática y socialmente cambiante, solo será posible mediante una amplia participación de los diversos actores involucrados, la armonización de instrumentos de política pública, la creación de capacidades y las sinergias virtuosas entre muy distintas actividades productivas.

En un momento de la vida de nuestro país en el que la ciudadanía de la política ambiental es una necesidad, en el que es imperativo poner en funcionamiento los mejores conocimientos científicos y tradicionales, sociales, privados y gubernamentales, para superar la grave situación de deterioro ambiental y generar oportunidades de cambio, este libro sobre Gobernanza y Manejo de Costas y Mares puede inspirar el diseño conjunto de diversas acciones que nos ayuden a avanzar en una coordinación de más largo plazo.

Dra. María Amparo Martínez Arroyo
Directora General del Instituto Nacional
de Ecología y Cambio Climático

Directorio de autores

Claudia Maricusa Agraz Hernández

Instituto EPOMEX,
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México
clmagraz@uacam.mx

Alfonso Aguilar-Perera

Departamento de Biología Marina
Universidad Autónoma de Yucatán
Campus de Ciencias Biológicas
y Agropecuarias
Carretera Mérida-Xmatkuil km. 15.5
97100 Mérida, Yucatán. México
alfaguilar@gmail.com

Laura Aguirre Franco

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología
Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351,
El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México
lauraaguirref@gmail.com

Humberto Alonso Peinado

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917.
22860. Ensenada, Baja California, México
ochumbertoalonso@gmail.com

María Andrade Hernández

Pronatura Península de Yucatán, A. C.
Calle 32 #269 x 47 y 47^a, Col. Pinzón II
97205. Mérida, Yucatán. México
mandrade@pronatura-ppy-org.mx

Mercedes Andrade-Velázquez

Centro del Cambio Global
y la Sustentabilidad A.C.
Calle Centenario del Instituto Juárez S/N.
Col Reforma. 86080. Villahermosa
Tabasco. México
mercedes.andrade@ccgs.mx

Luciano Eduardo Ángulo Padilla

Fac. de Ciencias Químico Biológicas. UAC.
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 5. Av. Exhacienda Kala
Campeche, Campeche. México

María Concepción Arredondo-García

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917.
22860. Ensenada, Baja California, México.
conchita@uabc.edu.mx,

Francisco Arreguín Sánchez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Instituto Politécnico Nacional
Av. Instituto Politécnico Nacional s/n Playa
Plao de Santa 23096
La Paz, Baja California Sur. México
farregui@ipn.mx

José Alfredo Arreola Lizárraga

Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste, Km. 2.35 Camino al Tular.
Estero de Bacochibampo. Apdo. Postal 349.
Guaymas, Sonora, México
aarreola04@cibnor.mx

Stefan Arriaga Weiss

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya
86150 Villahermosa, Tabasco, México
sarriagaw@hotmail.com

Sophie Ávila Foucat

Instituto de Investigaciones Económicas
Universidad Nacional Autónoma de México,
Circuito Mario de la Cueva, Ciudad de la
Investigación en Humanidades
Ciudad Universitaria 04510, CDMX, México-
savila_1@yahoo.com.mx

Luis Amado Ayala Pérez

Departamento El Hombre y su Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana
(UAM-Xochimilco),
Calzada del Hueso 1100,
Col. Villa Quietud, Coyoacán
04960. CDMX, México
uayala@correo.xoc.uam.mx

Isaac Andrés Azuz Adeath

Centro de Excelencia en Innovación y Diseño
(CEID) del Centro de Enseñanza Técnica y
Superior (CETYS Universidad)
Km. 1 camino microondas Trinidad S/N,
Ensenada, B.C., México.
Isaac.azuz@cetys.mx

Andrea Viridiana Balderas Cordero

Departamento de Recurso del Mar.
CINVESTAV-Mérida,
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Progreso
Apdo. Postal 75Mérida Yucatán. México

María de Lourdes Bello Sánchez

C&E Quality Consulting,
Insurgentes Sur 2047-B, Colonia San Ángel
01000, Ciudad de México
lsanchez@cequality.com

Fausto Fernando Bonilla Fernández

Instituto Tecnológico de Monterrey
Campus Ciudad de México.
Calle Puente 222, Coapa, Arboledas del Sur
14380, CDMX. México
faustofer.fb@gmail.com

Adolfo Campos Cascaredo

Instituto de Ecología AC.,
Red de Ecología Funcional.
Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya
91070, Xalapa, Veracruz, México
adolfo.campos@inceol.mx

Román Alejandro Canul Turriza

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria. 04510.
Coyoacán, CDMX. México
RCanulT@iingen.unam.mx

Cecilia O Carral Murrieta

Instituto de Ecología A.C.
Red de Ecología Funcional
Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya
91070, Xalapa, Veracruz, México
odettecarral@gmail.com

Uriel Castro Campos

Dirección de Sistema
de Alerta Temprana Multi-Riesgos.
Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y
Protección Civil. Ciudad de México, México

Vicente Castro Castro

Centro de investigaciones con Visión
para Mesoamérica (CIM)
Universidad Autónoma de Chiapas
Boulevard Manuel Velazco Suárez S7N
Col. Solidaridad 2000
30798 Tapachula Chiapas, México
vicente.castro@unach.mx

Eduardo Cejudo Espinoza

Centro de Investigación Científica de Yucatán,
A. C., Unidad de Ciencias del Agua
Calle 8, No. 39, Mz. 29, SM. 64
Cancún, Quintana Roo. México
eduardo.cejudo@cicy.mx

Omar Darío Cervantes Rosas

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad de Colima
Carr. Manzanillo – Cihuatlán Km. 20
28868, Manzanillo, Colima, México
omar_cervantes@uacol.mx

Carlos Armando Chan Kab

Fac. de Ciencias Químico Biológicas
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 5. Av. Exhacienda Kala
Campeche, Campeche. México
carachan@uacam.mx

Julio Cesar Chávez Barrera

Maestría Multidisciplinaria para
el Manejo de la Zona Costero-Marina
Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México

Ricardo Alberto Collado Torres

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya
86150 Villahermosa, Tabasco, México
richhyboy14@hotmail.com

Francisco A. Comín Sebastian

Department of Biodiversity Conservation
and Restoration of Ecosystems
Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC,
Av. Montaña 1005 50059, Zaragoza. España
comin@ipe.csic.es

Kenia Paohla Conde Medina

Maestría Multidisciplinaria para
el Manejo de la Zona Costero-Marina
Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México

Sofía Cortina Segovia

Especialista en SIG en Ecosistemas Costeros
sofiacortina1@gmail.com

Tania Cecilia Cota Lucero

Departamento de Recurso del Mar
CINVESTAV-Mérida,
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Progreso
Apdo. Postal 75. Mérida Yucatán. México
cotalucero@gmail.com

Eduardo Amir Cuevas Flores

CONACYT
Universidad Autónoma del Carmen
Calle Laguna de Términos S/N
Col. Renovación 2ª Sección.
24155, Ciudad del Carmen, Campeche
México.
ecuevas@pampano.unacar.mx

Alberto Delgado Estrella

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma del Carmen.
Km 9.5 Carretera Carmen-Puerto Real
24153, Ciudad del Carmen, Campeche
México
delgadoestrella@gmail.com

Consuelo Díaz Aguilar

Pronatura Península de Yucatán, A. C.
Calle 32 #269 x 47 y 47^a, Col. Pinzón II
97205. Mérida, Yucatán. México
chelotss@gmail.com

Hilda María Díaz López

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya
86150 Villahermosa, Tabasco, México
hildadiaz2@hotmail.com

Ricardo Dzul Caamal

Instituto EPOMEX,
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacoziari 480
24029 Campeche, Campeche. México
ricadzul@uacam.mx

Gilberto Enríquez Hernández

Instituto Nacional de Ecología
y Cambio Climático-SEMARNAT
Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 4209,
Jardines en la Montaña, 14210
CDMX. México

Federico Escamilla Escamilla

Maestría Multidisciplinaria para
el Manejo de la Zona Costero-Marina
Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacoziari 480
24029 Campeche, Campeche. México

Verenice Escamilla Rivera

Instituto Patagónico para el Estudio
de los Ecosistemas Continentales
CCT CENPAT-CONICET
Puerto Madryn, Argentina
vnbelisa@gmail.com

Irvin Gibran Escobar Junco

Maestría en Restauración Ecológica
Universidad Autónoma del Carmen.
Km 9.5 Carretera Carmen-Puerto Real
24153, Ciudad del Carmen,
Campeche. México
irgiesju@hotmail.com

Mireille Escudero Castillo

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria.
04510. Coyoacán, CDMX. México

Martha Ileana Espejel Carbajal

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California.
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917
22860. Ensenada, Baja California, México
ileana.espejel@uabc.edu.mx

Alejandro Espinoza-Tenorio

Colegio de la Frontera Sur-Campeche
Av. Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial
24500 Lerma Campeche, Campeche. México
espinatenorio@hotmail.com

Jorge Iván Euan Avila

Departamento de Recurso del Mar.
CINVESTAV-Mérida
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Progreso
Apdo. Postal 75. Mérida Yucatán. México
jorge.euan@cinvestav.mx

Angélica Felix Delgado

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria. 04510.
afelixd@ingen.unam.mx

Violeta Zetzangari Fernández Díaz

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California.
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917
22860. Ensenada, Baja California, México
violeta.fernandez@uabc.edu.mx

Pamela Flores Balbuena

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria.
04510. Coyoacán, CDMX. México

Domingo Flores Hernández

Instituto EPOMEX,
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480
24029 Campeche, Campeche. México
dominfofloreshernandez@gmail.com

Oscar Frausto Martínez

Laboratorio de Observación
e Investigación Espacial
Universidad de Quintana Roo
San Miguel de Cozumel, Quintana Roo,
México
ofrausto@urqoo.edu.mx

Moisés Frutos Cortés

Facultad de Ciencias Económicas
Administrativas
Universidad Autónoma del Carmen,
Calle 56 No 4. Esq. Avenida Concordia
Col. Benito Juárez. 214180.
Ciudad del Carmen Campeche,
Campeche. México
mfrutos@pampano.unacar.mx

Lilia Gama Campillo

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya
86150 Villahermosa, Tabasco, México
lillygama@yahoo.com

Maricarmen García Chavarría

Maestría Multidisciplinaria para
el Manejo de la Zona Costero-Marina
Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México

Gisela García Morales

Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste
Km. 2.35 Camino al Tular.
Estero de Bacochibampo. Apdo. Postal 349
Guaymas, Sonora, México

Francisco Gómez Criollo

Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480
24029 Campeche, Campeche. México
fragomez@uacam.mx

Pilar Angélica Gómez Ruiz

CONACyT
Centro de Investigación
de Ciencias Ambientales CICA
Universidad Autónoma del Carmen
Av. Laguna de Términos s/n Colonia
Renovación 2da. Sección
24155 Ciudad del Carmen, Campeche, México
pilarangelica@gmail.com

Rosa María González Marín

INBIOTECA-UV
Av. de las Culturas Veracruzanas 101
Col. Emiliano Zapata, Xalapa, Veracruz.
México
rosy.gonzalez.marin@gmail.com

Josefina González Mora

Investigación Aplicada
a Socio-Ecosistemas A.C.
Ensenada, Baja California, México
josefinagonzalez59@hotmail.com

Marco González Nochebuena

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351 El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México
marco.gonzales@inecol.mx

Juan Carlos Graciano

Departamento de Economía
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Carretera al Sur km 5.5 La Paz B.C.S. México
jgraciano.tga@hotmail.com

Alejandro Granados Barba

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías
Universidad Veracruzana
Miguel Hidalgo 616, Río Jamapa
94290, Boca del Río, Veracruz. México
agranados1@gmail.com

María Patricia Guadarrama Chávez

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal, Yucatán
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
Puerto de Abrigo s/n
97356, Sisal, Hunucmá, Yucatán, México
pguadarrama@ciencias.unam.mx

Jesús Jaime Guerra-Santos

Centro de Investigación de Ciencias Ambientales (CICA)
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma del Carmen
Calle Laguna de Términos S/N,
Col. Renovación 2ª Sección. 24155
Ciudad del Carmen, Campeche. México
jguerra@pampano.unacar.mx

Sor Juana Guzmán Jiménez

Maestría Multidisciplinaria para el Manejo de la Zona Costero-Marina
Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacoziari 480
24029 Campeche, Campeche. México

Alejandro Guzmán Ramírez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Instituto Politécnico Nacional
Av. Instituto Politécnico Nacional s/n
Playa Plao de Santa
23096, La Paz, Baja California Sur. México

Michelle Hallack Alegría

Alta Environmental, Water Resources,
Long Beach, CA, USA
mbhallack@uabc.edu.mx

María Elizabeth Hernández Alarcón

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México
elizabeth.hernandez@inecol.mx

Jassiel Hernández-Fontes

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria.
04510. Coyoacán, CDMX. México

Jorge Alfredo Herrera Silveira

Departamento de Recurso del Mar.
CINVESTAV-Mérida
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Profreso
Apdo. Postal 75. Mérida Yucatán. México
jorge.herrera@cinvestav.mx

Dulce Infante Mata

ECOSUR, Unidad Tapachula.
Carretera Antiguo Aeropuerto km 2.5
CP 30700. Tapachula, Chiapas. México
dulce.infante@gmail.com

Oscar Jiménez Orocio

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California.
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917.
22860. Ensenada, Baja California, México
oscar.jorocio@gmail.com

Juan Manuel Labougle Rentería

Conservation International México
Calle el Oro 23. Col. Roma Norte
06700 CDM. México
jlabougle@conservation.org

Sandra Laffon Leal

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma del Carmen.
Km 9.5 Carretera Carmen-Puerto Real
24153, Ciudad del Carmen, Campeche.
México

José Rubén Lara Lara

Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada
Carretera Ensenada - Tijuana No. 3918,
Zona Playitas, 22860, Ensenada, B.C. México
rlara@cicese.mx

Adi Lazos Ruíz

Centro de Investigaciones
en Geografía Ambiental, Campus Morelia
Universidad Nacional Autónoma de México
Antigua Carretera A Pátzcuaro 8701,
Ex Hacienda San José de la Huerta
58190 Morelia, Michoacán. México
alazos@ciga.unam.mx

Cuauhtémoc León Diez

Centro de Especialistas
en Gestion Ambiental (CEGAM)
Hortensia 126, Col. Florida
Alvaro Obregon, CDMX. México

Claudia Esmeralda León López

Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste,
Km. 2.35 Camino al Tular.
Estero de Bacochibampo
Apdo. Postal 349. Guaymas, Sonora, México-
cleon@pg.cibnor.mx

David León Nuñez

Laboratorio de Contaminación Marina
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria
Avenida Universidad 3000, Coyoacán
04510. CDMX. México

Hugo López Rosas

El Colegio de Veracruz
Carrillo Puerto 26,
91000, Xalapa, Veracruz. México
hugo.loper@gmail.com

María Elena Macías Valadez

División Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya.
86150 Villahermosa, Tabasco, México
valadez@hotmail.com

Ramón Jesús Martínez Beberaje

Facultad de Ciencias Económicas
Administrativas
Universidad Autónoma del Carmen,
Calle 56 No 4. Esq. Avenida Concordia.
Col. Benito Juárez. 214180
Ciudad del Carmen Campeche,
Campeche. México

Claudia Martínez González

Facultad de Ingeniería
Universidad Veracruzana
Calzada Adolfo Ruiz Cortines 455
Fraccionamiento Costa Verde
94294, Boca del Río, Veracruz, México
claudia_martinezg@hotmail.com

Maite Mascaro Miguelajaregui

Unidad Multidisciplinaria de Docencia
e Investigación, Sisal, Yucatán
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
Puerto de Abrigo s/n
97356, Sisal, Hunucmá, Yucatán, México
mmm@ciencias.unam.mx

Ena Mata Zayas

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya.
86150 Villahermosa, Tabasco, México
ena.matazayas@gmail.com

Gabriela Medellín Mayoral

Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros
Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Puerto de Abrigo s/n,
97355, Sisal, Yucatán. México

Edgar Mendoza Balwin

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria.
04510. Coyoacán, CDMX. México
EMendoza@iingen.unam.mx

Juan Enrique Méndozza Martínez

Departamento de Recurso del Mar.
CINVESTAV-Mérida
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Profreso
Apdo. Postal 75. Mérida Yucatán. México
juan.mendoza@cinvestav.mx

María del Carmen Monroy Dosta

Departamento El Hombre y su Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana
UAM-Xochimilco
Calzada del Hueso 1100
Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán
04960. CDMX, México
mmonroy@xoc.uam.mx

Roberto Monroy Ibarra

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología
Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351,
El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México
roberto.monroy@inecol.mx

Sara María Morales Ojeda

Departamento de Recurso del Mar.
CINVESTAV-Mérida,
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Profreso
Apdo. Postal 75. Mérida Yucatán. México
sara.morales@cinvestav.mx

Patricia Moreno Casasola

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología
Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351
El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México.
patricia.moreno@inecol.mx

Iris Neri Flores

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas
Universidad Autónoma de Querétaro
Aeropuerto Carretera a Chichimequillas,
Ejido Bolaños,
76140 Querétaro, Querétaro. México
irisneri@gmail.com

Alfredo Ortega Rubio

Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste
Instituto Politécnico Nacional 195
Playa Palo de Santa Rita Sur.
23096, La Paz, B.C.S., México
aortega@cibnor.mx

Leonardo Ortiz Lozano

Análisis y Síntesis de Zonas Costeras
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías
Universidad Veracruzana
Miguel Hidalgo 616, Río Jamapa
94290, Boca del Río, Veracruz. México
leoortiz@uv.mx

Juan Osti Sáenz

Instituto EPOMEX,
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480
24029 Campeche, Campeche. México

Coral Jasvel Pacheco Figueroa

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya.
86150 Villahermosa, Tabasco, México
pachecoral@yahoo.com.mx

Carmen Pedroza Gutiérrez

Unidad Académica de Estudios Regionales
Universidad Nacional Autónoma de México
Mérida, Yucatán. México
pedrozacarmen@yahoo.com

Luis Alberto Peralta Peláez

Tecnológico Nacional de México/I.T.
Veracruz-UNIDA.
Avenida Miguel Angel de Quevedo 2779
Colonia Formando Hogar
91860, Veracruz, Ver.acruz. México
luis.pp@veracruz.tecnm.mx

Gregorio Posada Vanegas

Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México
gposadav@uacam.mx

Felipe Ernesto Puc Cutz

Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México
feliepuc@uacam.mx

Enrique Quiroz Villanueva

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad de Colima
Carr. Manzanillo – Cihuatlán Km. 20
28868, Manzanillo, Colima, México

Javier Ramírez Ramírez

Departamento de Recurso del Mar.
CINVESTAV-Mérida,
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Progreso
Apdo. Postal 75. Mérida Yucatán. México
javier.ramirez@cinvestav.mx

José Alberto Ramírez Torres

Departamento El Hombre y su Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana
(UAM-Xochimilco)
Calzada del Hueso 1100,
Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán
04960. CDMX, México

Julia Ramos Miranda

Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480
24029 Campeche, Campeche. México
julramos@uacam.mx

Luis José Rangel Ruiz

División Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya.
86150 Villahermosa, Tabasco, México
lrangel@msn.com

Jordán Reyes Castellanos

Instituto EPOMEX,
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México

Graciela Rivera Camaco

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria.
04510. Coyoacán, CDMX. México

Evelia Rivera Arriaga

Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México
evrivera@uacam.mx

Laura Rodríguez Cardózo

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917.
22860. Ensenada, Baja California, México
lrcardozo@uacb.edu.mx

Karla Rodríguez Medina

Departamento de Recurso del Mar.
CINVESTAV-Mérida,
Instituto Politécnico Nacional
km 6 Antigua Carretera a Profreso
Apdo. Postal 75. Mérida Yucatán. México
karlardríguez@gmai.com

Julio Cesar Rolón Aguilar

Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller,
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Av. Universidad y Blvd. Adolfo López Mateos.
Centro Universiatrio Tampico-Madero
89109 Tampico, Tamaulipas, México
jrolon@docentes.uat.edu.mx

Amaia Ruiz de Alegria-Arzaburu

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917.
22860. Ensenada, Baja California, México

Ana Carolina Ruiz Fernández

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Unidad Mazatlán
Universidad Autónoma de México
Mazatlán, Sinaloa. México

Adriana Sandoval Moreno

Escuela Nacional de Estudios
Superiores-Mérida
Universidad Nacional Autónoma de México
Mérida, Yucatán. México
asandoval@humanidades.unam.mx

Edgar Abel Sánchez García

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología
Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351
El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México
edgarabel.snachez@gmail.mx

Lorena Sánchez Higuero

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología
Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351,
El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México.
lorenaelisa@gmai.com

Oscar Sánchez Luna

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología
Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351,
El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México
lua.oscar@outlook.com

Jacobo Santander Monsalvo

Departamento de Ciencias del Mar.
Instituto Tecnológico de Boca del Río
Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12
94290. Boca del Río, Veracruz. México
jacobosantander@bdelrio.tecnm.mx

Gastón Santos Martínez

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria. 04510.
Coyoacán, CDMX. México

Georges Seingier

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California.
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917
22860. Ensenada, Baja California, México
georges@uabc.edu.mx

Rodolfo Silva Casarín

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito escolar s/n. Edificio 17
Ciudad Universitaria.
04510. Coyoacán, CDMX. México

Esther Solano Palacios

Facultad de Ciencias Económicas
Administrativas
Universidad Autónoma del Carmen,
Calle 56 No 4. Esq. Avenida Concordia
Col. Benito Juárez. 214180.
Ciudad del Carmen Campeche,
Campeche. México
esolano@pampano.unacar.mx

José David Tadeo Vara

Instituto Tecnológico Superior
de San Andrés Tuxtla Carretera Costera
del Golfo Km. 140, Maticapan
95804 San Andrés Tuxtla, Veracruz, México
josedavid.tadeo@gmail.com

Claudia Teutli Hernández

Unidad Multidisciplinaria de Docencia
e Investigación, Unidad Sisal
Universidad Nacional Autónoma de México
Puerto de Abrigo s/n
97356, Sisal, Hunucmá, Yucatán, México
teutliclaudia@gmail.com

Ricardo Tobias Jaramillo

Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller,
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Av. Universidad y Blvd. Adolfo López MATEOS.
Centro Universiatrio Tampico-Madero
89109 Tampico, Tamaulipas, México

Yassir Edén Torres Rojas

Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480
24029 Campeche, Campeche. México
yjetorres@uacam.mx

Rodrigo Tovar Cabañas

Instituto Interdisciplinario de Investigación
Universidad de Xalapa A.C.
Kilómetro 2 de la Carretera Xalapa-Veracruz
Fraccionamiento Animas
91190. Xalapa, Veracruz. México.
**rod_geo77@hotmail.com*

Juana Treviño Trujillo

Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller,
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Av. Universidad y Blvd. Adolfo López Mateos-
Centro Universiatrio Tampico-Madero
89109 Tampico, Tamaulipas, México
jmtrevino@docentes.uat.edu.mx

Anaid Urban-López

Especialista en Políticas Públicas Costeras
soyanaid@hotmail.com

Abigail Uribe Martínez

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma del Carmen.
Km 9.5 Carretera Carmen-Puerto Real
24153, Ciudad del Carmen, Campeche
México

Ulsia Urrea Mariño

Centro Tepoztlán Víctor L. Urquidi, A. C.
Tenochtitlán 55-Bis, Barrio de Santo
Domingo, Tepoztlán
62520, Estado de Morelos, México
ulsiau@yahoo.com.mx

Juan de Dios Valdez Leal

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5
S/N, Entronque a Bosques de Saloya.
86150 Villahermosa, Tabasco, México
jdvaldezleal@hotmail.com

Rocio del Carmen Vargas Castillejas

Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller,
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Av. Universidad y Blvd. Adolfo López MATEOS.
Centro Universitario Tampico-Madero
89109 Tampico, Tamaulipas, México
rocavargas@docentes.uat.edu.mx

Judith Vázquez Benavides

Instituto de Ecología AC., Red de Ecología
Funcional. Carretera antigua a Coatepec 351
El Haya 91070, Xalapa, Veracruz, México
judith.vazquezbenavides@igmail.com

Alfonso Vázquez Botello

Laboratorio de Contaminación Marina
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria
Avenida Universidad 3000, Coyoacán
04510. CDMX. México
gataponcho2015@gmail.com

César Vázquez González

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías
Universidad Veracruzana
Miguel Hidalgo 616, Río Jamapa
94290, Boca del Río, Veracruz. México
cesargonzalez84@gmail.com

Yudisleyvis Ventura Díaz

Especialista en Manejo Sustentable
de Ecosistemas Costeros
judy.ventura.diaz@gmail.com

Laura Elena Vidal Hernández

Unidad Multidisciplinaria de Docencia
e Investigación, Sisal, Yucatán,
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
Puerto de Abrigo s/n
97356, Sisal, Hunucmá, Yucatán, México
laurae.vidal@ciencias.unam.mx

Mariana Villada Canela

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Carr. Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917.
22860. Ensenada, Baja California, México
mvilladac@uabc.edu.mx

Guillermo Jorge Villalobos Zapata

Instituto EPOMEX
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480.
24029 Campeche, Campeche. México

Susana Villanueva Fragoso

Laboratorio de Contaminación Marina
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria Av. Universidad 3000,
Coyoacán 04510. CDMX. México
suvilla11@gmail.com

Beatriz Edith Vega Serratos

Instituto EPOMEX,
Universidad Autónoma de Campeche
Campus 6, Héroe de Nacozari 480
24029 Campeche, Campeche. México
beavega@uacam.mx

PARTE 1

Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre

Una Guía para Tomadores de Decisiones

GOBERNANZA ADAPTATIVA

La gobernanza adaptativa es un “resultado de la búsqueda teórica de formas de manejo de la incertidumbre y la complejidad en sistemas socio-ambientales” (Dietz *et al.*, 2003; Walker *et al.*, 2004; Folke *et al.*, 2005; Folke, 2006). Para Chaffin *et al.* (2014), las incertidumbres asociadas a los cambios globales en el ambiente, incluyendo el cambio climático y los cambios drásticos en el uso del suelo, los sistemas de gobernanza ambiental deben ser altamente adaptativos. Los sistemas de gobernanza, sobre todo los que son orientados de arriba-hacia abajo y de comando-control, no alcanzan a cubrir la complejidad ambiental requerida especialmente ante los retos del cambio climático; y quedan cortos en sus esfuerzos por coordinar la gobernanza a través de ecosistemas de gran escala que cubren múltiples fronteras (Lemos y Agrawal, 2006). Chaffin *et al.* (2014) la define como una forma de gobernanza que “coordina el manejo de regímenes de recursos ante la complejidad y la incertidumbre asociados con el cambio rápido ambiental”.

- Chaffin, B. C., H. Gosnell, y B. A. Cosens, 2014. A decade of adaptive governance scholarship: synthesis and future directions. *Ecology and Society*, 19(3): 56. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06824-190356>
- Dietz, T., E. Ostrom, y P. C. Stern, 2003. The struggle to govern the commons. *Science*, 302:1907-1912. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1091015>
- Folke, C. 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16: 253-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Folke, C., T. Hahn, P. Olsson, y J. Norberg, 2005. Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30: 441-473. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- Lemos, M. C., y A. Agrawal, 2006. Environmental governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 31: 297-325. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.31.042605.135621>
- Walker, B., C. S. Holling, S. R. Carpenter, y A. Kinzig, 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2): 5. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Diseño de la gobernanza costera

E. Rivera-Arriaga y L. E. Vidal Hernández

Resumen

El problema central para la gobernanza en la zona costero-marina es que mientras los problemas potenciales pueden ser identificados con diversos estudios y tecnologías, éstos pueden ser resueltos sólo a través de la investigación, el desarrollo y la demostración. Idealmente, la gestación de la gobernanza comienza ante algunos de los efectos negativos que empiezan a aparecer en el uso de las playas, la presencia de inundaciones atípicas o el colapso de las pesquerías. Pero anticipar en esta etapa primaria cómo va a evolucionar la gobernanza ante la incertidumbre de los procesos naturales y sociales es muy difícil. Las respuestas en este sentido cuando ha pasado el tiempo y los efectos negativos son más grandes, son extremadamente difíciles para todos, gobiernos, sociedad y ambiente. El dilema del control ha conducido a llamadas de emergencia para diferentes efectos sobre los sectores y las respuestas comunes son de reacción de las instituciones a cargo, como es el caso de la protección civil

donde se reacciona ante el riesgo inminente o sus consecuencias, dando únicamente soluciones de final de la tubería. Este capítulo planteará lineamientos para lograr una gobernanza efectiva en la zona costera, aunque su implementación será siempre inherentemente controversial y debe considerarse como un ejercicio político. La gobernanza en el ámbito de la incertidumbre debe establecerse sobre colaboraciones basadas en la equidad y en el compromiso, en la flexibilidad para la adaptación ante los efectos que pueda traer el cambio climático sobre los recursos naturales y los ecosistemas, con los cambios en la economía, o con los diferentes escenarios sociales que se presenten. El control de la administración pública o gobierno en el ámbito local es siempre rígido y está supeditado a la capacidad institucional del órgano ejecutor. En cambio la gobernanza, permite que el conjunto de actores involucrados, generen la sinergia y plasticidad necesarias para llevar a cabo la toma de decisiones y las acciones requeridas dentro de las condiciones planteadas por la incertidumbre.

Palabras clave: liderazgo y gobernanza, rendición de cuentas y gobernanza, lecciones aprendidas y gobernanza.

Introducción a la gobernanza costera

Considerando que la gobernanza costera implica el involucramiento de agentes económicos, sociales, ambientales, institucionales, culturales y políticos; se puede suponer una especie de mezcla de gobierno compartido en el que la sociedad también asume la legitimidad del proceso y el reconocimiento de las decisiones.

En este tenor, la gobernanza tiene tres características: 1. El proceso mediante el cual se monitorea el quehacer gubernamental; 2. La capacidad de la sociedad y del gobierno para formular y aplicar decisiones y políticas adecuadas; y 3. La coordinación de ciudadanos y gobiernos con sus instituciones para tomar decisiones en las interacciones ambientales, económicas y sociales.

Existen múltiples casos sobre gobernanza costera en el mundo; en México existen pocos que estén documentados y que auxilien a los líderes de la gobernanza para establecerla, dirigirla y fortalecerla. La gestión de las costas está sujeta a muchas regulaciones,

leyes e instrumentos legales para cada uno de los sectores y zonas que ocupan ese espacio, por lo que puede ser difícil establecer un tema o elegir un problema a atender de forma sencilla a través de la gobernanza.

La gobernanza ha evolucionado a través de los años y existen actualmente numerosas estructuras de gobernanza. El Banco Mundial junto con el Fondo Monetario Internacional han sido dos de las instituciones internacionales que más han impulsado el concepto de gobernanza para favorecer la aplicación de los programas de ajuste estructural y los proyectos de descentralización como condición para otorgar préstamos y financiamiento a gobiernos nacionales alrededor del mundo.

De lo anterior se desprende que las instituciones que ejercen la autoridad generen procesos de monitoreo de sus actividades, aumenten su capacidad para implementar políticas públicas y refuercen el respeto de los individuos y del estado por las institu-

ciones. La gobernanza es un proceso dinámico que conjunta procesos y oportunidades de manejo en la zona costera (figura 1).

Este capítulo pretende darle, a los tomadores de decisiones de temáticas costeras o no y a los servidores públicos de los tres

órdenes de gobierno los elementos para construir un marco robusto que plantee una estrategia aplicable en su zona costera y monitorear su progreso de implementación dentro de un ciclo anual.

La gobernanza costera

El propósito de la gobernanza es proveer un liderazgo confiable y estratégico y crear una rendición de cuentas sólida, incluyente, integral y adecuada para el manejo costero integrado. Al crearse los grupos de manejo costero sin importar el sector, el tipo de tema o el problema integrado deben considerarse los puntos para una buena gobernanza según McLaughlin (2010):

- Asegurar una visión clara, ética y dirección estratégica
- Considerar que cada sector, grupo de usuarios y actores es responsable del

desempeño de la gobernanza, por lo que deben contribuir a apuntalar la toma de decisiones para una zona costera compleja y dinámica

- Auditar el desempeño financiero de la operación de la gobernanza para asegurar transparencia y rendición de cuentas

La gobernanza para el manejo integrado de la zona costera debe estar basada en la realidad de la zona costera de que se trate, definida por datos científicos e información confiable, así como por una comprensión completa de las necesidades y problemas

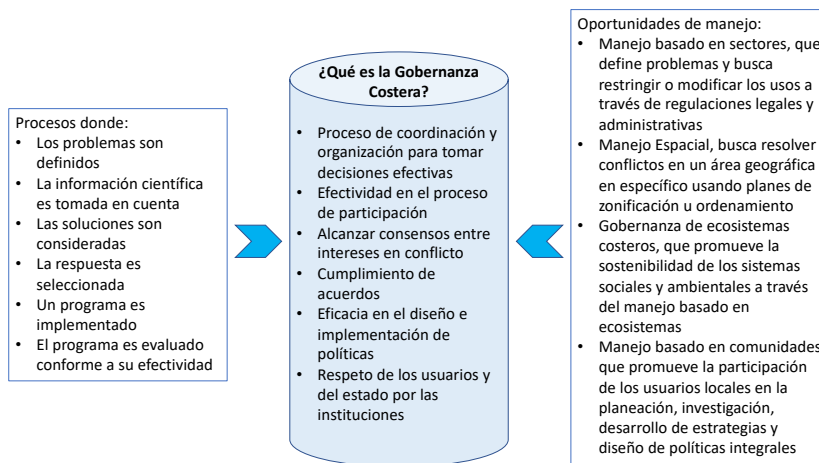


Figura 1. La gobernanza como una oportunidad de tomar decisiones para resolver un problema costero siguiendo procesos y conjuntando oportunidades de manejo. (Fuente: autoría propia).

ambientales, sociales, económicos y políticos que enfrentan sus múltiples usuarios y actores. Éstos estarán conformados por el sector público en sus tres órdenes de gobierno, el sector social, el sector privado, el sector académico y la sociedad civil organizada, además de la comunidad local. Puede ser guiada por cualquiera de los sectores organizados pero siempre deberá promover el intercambio de opiniones, el respeto a los puntos de vista, tomar en cuenta todas las necesidades y conducirse dentro del marco de la ley, con humildad, buen juicio, resiliencia y determinación.

La zona costera enfrenta múltiples retos, desde la contaminación de sus aguas y la destrucción de sus recursos y ecosistemas, hasta conflictos entre diferentes sectores por usos simultáneos en el tiempo o el espacio o, por las interacciones negativas entre ellos. Sin importar la escala o naturaleza del problema que se vaya a atender desde la gobernanza, las características de lo que genera una gobernanza efectiva son las mismas. Éstos son comunes a través de la zona costera y comparten principios fundamentales con la gobernanza en los sectores social, ambiental, político y privado.

La gobernanza efectiva para la zona costera se basa en seis características clave:

- Liderazgo estratégico que guía el proceso en un objetivo común, con valores compartidos y con visión integral
- Rendición de cuentas, que genera confianza y credibilidad en el actuar
- Usuarios y actores, con la representación de su sector, con las capacidades, habilidades, cualidades y experiencia que permita la discusión, el análisis y la construcción para tomar de decisiones
- Estructuras, que refuerce las encomiendas y responsabilidades claramente establecidas entre los participantes
- Cumplimiento, con los requerimientos legales y administrativos
- Evaluación, para monitorear el avance en la calidad e impacto de la gobernanza.

Las dos primeras características son el núcleo básico de las funciones y el propósito de los que coordinen este esfuerzo de gobernanza. Las dos segundas características son la forma de organizar la gobernanza; y las últimas dos, son para asegurar la calidad y mejoramiento de la misma.

Liderazgo que plantea la visión y la estrategia

- El primer gran reto del liderazgo será guiar al grupo para reconocer adecuadamente la problemática por atender. Será necesario identificar las causas directas e indirectas del fenómeno de deterioro que requiere de la gobernanza y definir los recursos con que el grupo puede contar para ejercer su atención a la misma. Esto será crucial para la definición de alcances y de metas.
- Esto implica una visión clara y explícita sobre el futuro de la zona costera, en colaboración con los otros líderes sectoriales que conforman el núcleo de esta gobernanza. De igual forma se requieren valores fuertes y claros que estén definidos y moldeados por el grupo de gobernanza y que sean compartidos por todos los actores y usuarios participantes y sus representados. Liderazgo también consiste en planear estratégicamente para definir metas de mediano y largo plazo, así como desarrollar y plantear las prioridades que sean comprendidas por todos en el grupo de gobernanza.
- Conocer los procesos requeridos para monitorear y revisar el progreso del proceso para alcanzar las metas propuestas,

es también parte del liderazgo. Al igual que es revisar la visión y las metas de forma periódica y cuando sea necesario, incluyendo en aquellos momentos de cambio, crecimiento o decaimiento. Es crucial contar con mecanismos para motivar al grupo a escuchar, comprender y responder a las voces de otros usuarios y actores y de la comunidad local. Dentro de las responsabilidades del líder están la determinación para iniciar y guiar cambios estratégicos, ya que se harán en el mejor interés de la zona costera y de cada sector.

- El líder deberá tomar riesgos con cautela, asegurando que los riesgos estén alineados con las prioridades estratégicas y los planes de mejoramiento, y que las estrategias apropiadas para intervenir sean las adecuadas en cada nivel de la gobernanza.
- El líder deberá también tomar decisiones con la mejor información disponible sobre la forma de abordar una problemática o necesidad sectorial, la cual deberá estar apuntalada por un marco regulatorio robusto y una conciencia de las necesidades para lograr la efectividad de las estructuras y procedimientos de la gobernanza, considerando la escala, complejidad y envergadura de la intervención.
- En situaciones de gobernanza compleja como lo son las zonas costeras, el liderazgo se debe depositar en un grupo pequeño de personas que se ocupen de mantener el proceso de gobernanza y en grupos de trabajo que se encarguen de la operación de las acciones requeridas. En algunos casos como en situaciones regionales o nacionales, el liderazgo podría delegar algunas de sus responsabilidades a comités regionales/nacionales

que estén coordinados por un cuerpo local con liderazgo.

- En cualquier caso, se espera que la estructura de gobernanza cumpla con las expectativas que se establezcan en el plan de gobernanza costera y deberá contar con evidencias que se conjunten a través de la adopción de un código de conducta entre los participantes.

La experiencia en manejo de recursos naturales reconoce que el núcleo líder debe tener:

- Una comprensión suficiente y adecuada de su papel y responsabilidades.
- Coordinación adecuada.
- Administración profesional.
- Buenas relaciones basadas en la confianza.
- Conocimiento sobre su sector y la problemática a atender con todos sus elementos y participantes (sectores, comunidad, actores, estado de la costa, etc.).
- El compromiso de plantear las interrogantes necesarias y pertinentes
- Confianza de tener conversaciones y discusiones con los otros sectores y usuarios en el afán de contribuir al proceso de gobernanza.
- Claridad de los usuarios y actores adecuados para participar en el proceso de acuerdo con sus conocimientos, experiencia e interés.

Rendición de cuentas, que genera confianza y credibilidad en el actuar

- La rendición de cuentas requiere de un análisis riguroso del progreso de las condiciones que imperan en la zona costera, ya sean ambientales, sociales, políticas o económicas. Por lo que se requiere

de información de línea base contra la que se puedan comparar los avances que se han tenido. Debe de considerarse un proceso claro de seguimiento y monitoreo del mejoramiento de la problemática de la zona costera que permita identificar los retos más apremiantes de una manera constructiva y ejecutiva.

- Un sistema transparente del desempeño del manejo integrado de la zona costera, del líder y de todos los involucrados, que sea comprendida por todos en el grupo de gobernanza y que esté vinculado a definir estrategias prioritarias. De igual forma un seguimiento efectivo del desempeño de todos los demás miembros de la gobernanza y los representados, en cumplimiento del marco regulatorio y de las condiciones en que se llevan a cabo las actividades en la zona costera.
- También es importante sostener un calendario regular de reuniones y procedimientos apropiados para apoyar la planeación y las actividades de intervención, incluyendo las financieras. Y por último establecer controles efectivos para el manejo dentro de los recursos disponibles y asegurar la administración regular, adecuada y acorde con cada partida comprometida.
- La gobernanza efectiva y eficiente es esencial para la salud y éxito de cualquier organización. En cualquier sector, cuando la organización falla, es que ha habido un problema en la gobernanza. Si se quiere prevenir cualquier problema, se deberá asegurar que la gobernanza sea fuerte y que se utilizan adecuadamente los recursos disponibles para alcanzar las metas propuestas.
- Cuerpos de liderazgo efectivos dentro de la gobernanza, que estén preparados y equipados para asumir sus responsabilidades de forma seria.

Usuarios y Actores

- Con la representación de los diferentes sectores y contando con las capacidades adecuadas, las habilidades, cualidades y experiencia que permitan la discusión, el análisis y la construcción de toma de decisiones. Es importante que tanto los usuarios como los actores comprendan el propósito de la gobernanza y el papel de cada uno y del liderazgo que se requiere.
- La composición de participantes debe reflejar la diversidad requerida por el tema que resultará a su vez en la diversidad de perspectivas necesarias para la toma de decisiones.
- Los usuarios deberán ser seleccionados a través de procesos robustos y transparentes considerando los requerimientos de articulación clara que se necesiten.

Las características de usuarios y actores participantes del proceso son:

- Una comprensión de la gobernanza incluyendo el reconocimiento del papel del grupo de liderazgo .
- Disposición a proveer información en la forma más adecuada para que el grupo líder pueda llevar a cabo su papel.
- Participación activa en los procesos y un deseo de ser retados.
- Disponibilidad de tiempo para cumplir con las acciones y tareas encomendadas
- Las capacidades, conocimientos y comprensión para desarrollar relaciones de trabajo efectivas con el grupo líder.
- Actitud respetuosa e incluyente a los demás participantes del grupo.

Estructura

- Considerando que refuerce los papeles y responsabilidades claramente establecidas para cada uno de los participantes, se da a través de estructuras de grupos de trabajo y/o comisiones específicas que reflejen la escala y estructura de la organización de gobernanza, de forma que asegure el seguimiento adecuado de las prioridades clave establecidas.
- Se debe diseñar un plan donde haya una clara separación entre el seguimiento y el liderazgo operativo, el cual es apoyado por relaciones positivas que fomenta una cultura de colaboración profesional a través de toda la organización y estructura de la gobernanza establecida.
- Debe establecerse un proceso que asegure la comunicación apropiada entre todos los participantes en todos los niveles y sectores participantes en la gobernanza, esto es el sustento de la transparencia en la toma de decisiones.

Cumplimiento con los requerimientos del marco legal

- Se requerirá tener claridad en el conocimiento de las responsabilidades jurídicas y morales dentro de la gobernanza para cada uno de los temas a ser tratados y resueltos.
- Es recomendable contar con un manual dentro de la estructura de gobernanza que permita señalar los pasos clave que deberán seguirse y dónde deben aplicarse.

- Los temas que deben cumplirse entre varios, son la promoción de la equidad y diversidad a través de la gobernanza incluyendo en relación con su propia operación.

Evaluación para monitorear y mejorar la calidad y el impacto de la gobernanza

- Considerando que se da a través de auditorías regulares alineadas al plan estratégico de la organización e identificando faltantes y áreas de mejoramiento que pueden indicar las necesidades de reclutamiento de personal y de planeación del ciclo de desarrollo de las capacidades profesionalizantes, incluyendo una inducción apropiada para aquellos integrantes nuevos en la estructura de gobernanza.
- Otra parte importante es identificar la contribución de cada usuario/actor dentro de la gobernanza para determinar su efectividad.
- Las revisiones de efectividad, particularmente en esos puntos de transición o de crecimiento claves, son importantes para detectar la necesidad de incluir asesorías expertas que fortalezcan las capacidades de evaluación del grupo y promuevan nuevas áreas de desarrollo.
- Todo lo evaluado deberá estar presentado dentro de un documento de evidencias.

Principios para el desempeño de la gobernanza

El núcleo líder de la gobernanza establecida llegará a tener demasiada información y procesos que se estarán llevando a cabo de manera paralela, por lo que se deberán establecer algunos principios básicos para asegurar la efectividad y eficiencia del desempeño de la gobernanza. Estos pueden verse en la figura 2.

A continuación se explican algunos de los principios básicos, pero solo se incluirán aquellos aspectos donde la explicación no es evidente.

El liderazgo estratégico

Dentro de la gobernanza es crucial establecer una cabeza que tenga claro el problema, la ruta crítica para su resolución, la direc-

ción que se debe tomar y los resultados que se requiere tener en cada paso. Esto involucra que deberá establecer un marco estratégico general de gobernanza, que incluya la visión y las prioridades estratégicas. De igual manera deberá incluir la responsabilidad de establecer la forma de trabajo dentro de la gobernanza, los valores y la ética.

Es muy importante que el núcleo líder de la gobernanza comprenda dónde comienzan y terminan sus responsabilidades. Esto significa que no deberán involucrarse en la operación de cada sector ya que pueden entorpecer el desempeño sectorial y el propio.

De igual forma, el núcleo líder de la gobernanza deberá actuar en el mejor interés de la zona costera, su ambiente y sus habi-



Figura 2. Principios de gobernanza costera. (Fuente: autoría propia).

tantes y como guardián de la ética y legalidad de todos los procesos que se lleven a cabo en la zona costera, señalando lo que no sea correcto.

Marcando el rumbo

El líder asegurará que la gobernanza tenga una visión clara que deberá presentarse por escrito en un documento que contenga el marco de acción. Este marco deberá incluir los escenarios posibles y los probables en el planteamiento y futura resolución de los temas que ocupen a la gobernanza; así como las relaciones que deberá establecer el grupo de gobernanza con su entorno, esto es otros niveles de gobierno, otros actores, asociaciones, sectores, etc. La visión engloba el nivel de deseo que se tenga para el desarrollo futuro de la gobernanza.

El líder deberá asegurar que haya una estrategia que se esté implantando para alcanzar la visión propuesta. La estrategia deberá proveer un marco robusto para establecer prioridades, crear rendición de cuentas y monitorear el progreso en la realización de la visión de la gobernanza.

El enfoque deberá centrarse en retos estratégicos significativos. El detalle de todas las acciones que conllevarán al grupo de gobernanza a cumplir con la visión para alcanzar cada meta deberá estar contenido y debidamente descrito en un documento específico para cada tema.

Toma de decisiones

Toda la estructura de gobernanza es co-responsable de la toma de decisiones, en especial el núcleo líder. Éste puede delegar asuntos de operación a otros miembros, así como algunas funciones de la gobernanza a comités y grupos de trabajo, pero es el núcleo, como entidad líder la que permanece como la responsable de todas las decisiones

tomadas y cada sector participante, opera dentro de su propia autonomía, jurisdicción y funciones orgánicas de acuerdo con la ley, además de aquellas que les haya encomendado el núcleo líder.

En la mayoría de los casos, es el núcleo líder el que decide a quién delegar ciertas decisiones y operaciones dependiendo del tema. Sin embargo, todos los núcleos líderes deberán contar con un coordinador que asuma la responsabilidad de la organización y actuar de la gobernanza.

El núcleo debe operar y tomar decisiones en el mejor interés de la zona costera, es decir, respetando los principios generales de la gestión ambiental (*e.g.* precaución, prevención, conservación de condiciones naturales, uso más conveniente, responsabilidad común pero diferenciada, etc.) y alineado al objetivo de la gobernanza, nunca como una organización para cabildear por sus propios intereses sectoriales de manera aislada.

Los núcleos deben procurar tener suficiente rango de diversidad de puntos de vista, ya que esto permitirá abrir debates que resultarán en buenas decisiones en el interés de toda la zona costera, su ambiente y habitantes. Sin embargo, los núcleos deberán cuidar no tomar una sola ruta de opinión o ideología como el camino a seguir. Los núcleos deberán asegurarse de comprender la diversidad de los contextos sociales, culturales, sectoriales e inclusive religiosos que se presentan en cada zona costera.

La buena toma de decisiones siempre será la que esté mejor informada tanto por evidencias disponibles e información científica de cómo funciona la zona costera y su problemática; así como por la visión y necesidades de usuarios clave, especialmente de los habitantes de la zona costera. Todos

los integrantes de la gobernanza en su conjunto y en particular el núcleo líder deberá comprender lo que piensan y necesitan los usuarios, y al mismo tiempo reconocer que tienen conocimiento valioso y perspectivas con respecto a la zona costera y a la problemática tratada. De forma que traerlos a las discusiones y la toma de decisiones dentro de la gobernanza ayudará a garantizar que haya siempre un vínculo entre la gobernanza y la comunidad costera.

Para hacer las decisiones creíbles y dejar claro que son tomadas en el mejor interés de la zona costera y sus usuarios, es esencial que el núcleo líder tenga una detección y solución efectiva ante cualquier conflicto de intereses. Todos los núcleos deberán prevenir que este tipo de conflictos no afecten sus decisiones. La toma de decisiones robusta siempre toma en consideración el riesgo. Se deberá contar con un marco de trabajo para detectarlo y manejarlo. En particular los riesgos asociados con las prioridades estratégicas y los planes operativos.

Manejo de riesgos

La toma de decisiones sobre el manejo de recursos y sistemas costeros lleva implícito el mecanismo de aprender a través del ensayo y error. Pese a que el proceso de planeación deberá sustentarse en un amplio conocimiento de las problemáticas a atender, siempre existirá un componente de incertidumbre que no se debe obviar o minimizar. Es decir, el proceso de incidir o modificar la realidad a través de acciones puede producir condiciones de riesgo. Por ello será necesario establecer alternativas de acción cuando una condición de amenaza no prevista aparezca en el escenario o cuando una manifestación de vulnerabilidad se hace evidente. Se sugiere, diseñar medidas alternativas de acción que permitan: pri-

mero, en un tiempo razonable evidenciar condiciones no deseadas o imprevistas y; segundo, dar un paso atrás o retornar a una condición conocida de menor riesgo. Todo el grupo de personas involucradas en la gobernanza deben estar conscientes de que no hay forma de evitar esta experimentación y que estar atenta a efectos no deseados debe ser responsabilidad de todos los involucrados, así como la disposición a contrarrestar los efectos. Cada grupo compartirá un proceso de aprendizaje adaptativo.

Diseño incluyente y colaborativo de la(s) estrategia(s) de gobernanza costera

Es importante tomarse el tiempo necesario para reflejar, discutir y consultar antes de determinar la estrategia de gobernanza costera. Y ésta debe ser un ejercicio asumido en parte por todo el grupo de gobernanza, el coordinador general y el núcleo. Es importante que se decida cómo se va a involucrar a cada uno de los miembros, y cómo todas las ideas, enfoques y oportunidades serán consideradas.

Cuando se determina una estrategia para alcanzar la visión acordada, se debe tomar en cuenta los retos, riesgos y barreras. Establecer qué es lo que la gobernanza necesita priorizar para resolver esos retos y enfrentar las barreras y mitigar los riesgos. De igual forma se deberá establecer cómo se sabrá que la meta ha sido alcanzada.

Cuando se diseña el documento de la estrategia, ésta deberá considerar lo siguiente:

- La visión (proyección a corto, mediano o largo plazos).
- Identificar una prioridad mejorada para cada aspecto alcanzado de la visión (no es recomendable tener más de seis prioridades en el documento).

- Describir indicadores para monitorear el avance en tiempo y forma para cada prioridad.
- Involucrar a otros usuarios.
- Cada prioridad mejorada debe ser cuantificable; se sugiere considerar marcos de tiempo ya sean mensuales, anuales o multianuales.
- Describir los arreglos del núcleo líder para dar seguimiento a la implementación de la estrategia.
- El documento debe ser breve.

El documento de la estrategia debe ser aprobado por todos los miembros de la gobernanza y cada prioridad mejorada deberá ser sustentada por un arreglo sectorial, recursos presupuestales y personal capacitado. Es hasta entonces que el coordinador general puede plantear el plan de operaciones con las acciones requeridas para cumplimentar la estrategia. El plan operativo deberá proveer detalles de cómo cada prioridad será alcanzada. Los objetivos estratégicos de la gobernanza deberán estar también vinculados con los objetivos de desempeño del manejo costero.

Efectividad y eficiencia del monitoreo del desempeño de la gobernanza

De acuerdo con el resultado y/o productos obtenidos se determinarán el tipo de evidencias requeridas para medir el progreso obtenido. Las escalas de medición serán acordadas detalladamente entre los miembros de la gobernanza con base en los avances mensuales, semestrales, o anuales según correspondan, tal y como los arreglos sobre el monitoreo estén plasmados en el documento estratégico.

Cuando se determine qué y cómo es lo que se desea alcanzar como producto/resultados, será importante considerar aquellos

que sean específicos, medibles, asequibles, realistas y obtenidos a tiempo. Algunos ejemplos de productos/resultados de alto nivel y la evidencia que requieren, son:

- **Calidad del ambiente costero:** grado de conservación de ecosistemas y biodiversidad, presencia de los servicios ambientales relativos a dichos ecosistemas, grado de pristinidad, etc.
- **Calidad de vida en la zona costera:** servicios públicos para un porcentaje alto de la población, nivel de empleo, servicios de salud, nivel de sanidad, etc.
- **Calidad de la zona costera para recreación:** número de usuarios y visitantes, calidad de los servicios, nivel de riesgo y vulnerabilidad, etc.
- **Calidad del manejo integrado de la zona costera:** efectividad de la gobernanza, eficacia de la coordinación intersectorial e intergubernamental, transparencia y rendición de cuentas, etc.

Los miembros de la gobernanza podrán diseñarlos de acuerdo a cada situación en particular y pueden ser tantos como se considere oportuno. Sin embargo, hay que tener cuidado si se consideran monitoreos ambientales ya que requieren de financiamiento. También hay que considerar que se tenga información o que sea fácil obtenerla.

Así como es importante el monitoreo de la estrategia, la gobernanza también debe evaluar la efectividad de las políticas, el cumplimiento del marco legal y regulatorio, la protección de datos, la equidad y el ser incluyentes. Muchas prioridades mejoradas pueden estar vinculadas a otras o a algunas políticas de otros sectores no considerados. Los grupos de gobernanza deben asegurarse de monitorear las políticas *per se* estableciendo un ciclo de revisión de políticas y asegurarse que se mantengan vigentes.

Es importante medir lo que se valora. Los grupos de gobernanza no deben limitarse a las medidas de desempeño operativo, ya que por el bien de la zona costera, deben considerar de manera integrada todo lo que allí sucede con respecto a la problemática tratada. No todas las prioridades mejoradas son cuantitativas y algunas de ellas son de los resultados más importantes. Un ejemplo es la percepción de los usuarios con respecto a la zona costera, la cual puede ser monitoreada a través de una combinación de encuestas o entrevistas; o bien algunas mediciones indirectas como la presencia o ausencia de visitantes a la zona costera.

Para algunas de las mediciones, habrán datos limitados para comparar o habrá que utilizar una línea base. En estos casos, la gobernanza podrá conocer los avances a través de la comparación de datos actuales con datos de la línea base y establecer patrones y tendencias a través del tiempo.

Al momento de evaluar el impacto habrá que considerar las siguientes interrogantes:

- ¿Se tiene acceso expedito a todos los datos e información que se necesita para monitorear las prioridades mejoradas?

- ¿Se puede tener acceso a esa información de manera independiente, o se depende de alguien externo al grupo de gobernanza para obtenerla?
- ¿Se tienen las habilidades dentro del grupo de gobernanza para interpretar los datos, o se depende de alguien externo a a tal grupo?
- ¿Se encuentra la información al nivel adecuado de detalle o suficientemente detallado para saber lo que se necesita, pero no tan detallada que la hace muy difícil de interpretar?
- ¿Se pueden usar los datos de la línea base para comparar el desempeño de la gobernanza en la zona costera con respecto a otros casos?
- ¿Está la información disponible en todo sentido para el desempeño de la gobernanza para todos los aspectos acordados que son importantes; o sólo para aquellos en los que es fácil la medición?

Algunas interrogantes dirigidas pueden ser las presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Interrogantes dirigidas.

Prioridades mejoradas:	¿Se alcanzaron las metas? Si, no, ¿Cuál es la razón?
Poderes fácticos:	¿Hubo algún imprevisto que cambiara las condiciones?
Mejora de largo plazo:	¿Sigue siendo esa la meta o ya cambió y por qué?
Discusiones encausadas:	¿Cómo puede eso aportar positivamente a la gobernanza de la zona costera?
Ajustes	Una estrategia no es un plan sino una propuesta de enfoque y acción, y como tal debe ser adaptable y flexible al cambio de condiciones y al tiempo.
Evaluación:	A medio término y al haber haber atendido todas las prioridades, cumplido los objetivos y alcanzado las metas, es necesario evaluar el desempeño, las operaciones, los procesos y los resultados y productos, pero sobre todo el estado de la zona costera con respecto a la problemática para la que se trabajó la gobernanza.

Evaluación de la efectividad de la gobernanza

Este paso es muy importante tanto para el grupo que conforma la gobernanza, como para las acciones y los procesos que llevó a cabo.

Efectividad del grupo de gobernanza

Generalmente el coordinador general de la gobernanza tiene la responsabilidad de asegurar el funcionamiento efectivo del grupo. Los buenos líderes guían a través de los buenos ejemplos y piden retroalimentación de cada integrante de forma regular para mejorar su propio desempeño y de esta forma sostener una evaluación sobre el impacto de sus contribuciones al final de cierto periodo (semestral o anual). De igual manera el coordinador general debe ser evaluado por el grupo de gobernanza de manera periódica sobre áreas de fortaleza y de mejora.

Las auditorías regulares son también importantes para detectar áreas de oportunidad en las habilidades y competencias que se requieren dentro del grupo de gobernanza, dependiendo del sector y acciones que se vayan a llevar a cabo. De esta manera se detectan posibilidades de mejora que deberán ser cubiertos por personas expertas o con determinada capacitación. Esto ayudará incluso a considerar la reconstitución del grupo de gobernanza.

Auditorías externas al grupo de gobernanza

El objetivo es detectar ineficiencias y opacidades en el desempeño de cada uno de sus integrantes y sus acciones y pretende detectar áreas de oportunidad de mejora tanto en el liderazgo como en el desempeño de cada miembro del grupo.

Es crucial que el grupo de gobernanza asuma las recomendaciones con el espíritu de corregir y mejorar cada aspecto detectado de acuerdo con la naturaleza y forma de la evaluación. Siempre estas auditorías deberán ser independientes y objetivas para que cumplan con su cometido.

Inspecciones de operación de la gobernanza

Las personas encargadas de informar sobre el desempeño del grupo de gobernanza deberán hacerlo considerando su plan operativo y el seguimiento de cada uno de los pasos en la ruta crítica para cada acción. Pero también considerando el papel y responsabilidades que cada uno de los miembros asumió para alcanzar los objetivos y metas de la gobernanza en la zona costera. Los resultados y productos obtenidos en cada etapa y en cada acción deberán ser revisados conforme al mejoramiento que se tenga de la problemática atendida en la zona costera.

Para llevar a cabo las inspecciones se deberán considerar indicadores de desempeño. Estos indicadores contienen criterios que permiten detectar el desempeño del grupo de gobernanza con respecto al seguimiento del plan operativo y su cumplimiento en tiempo y forma.

Otra parte importante es la percepción de los usuarios de la zona costera con respecto al desempeño de la gobernanza para abordar la problemática en cuestión. Esta retroalimentación permitirá—sobre todo en las inspecciones de medio término—llevar a cabo los ajustes necesarios para mejorar aquellos aspectos que los usuarios hayan detectado como deficientes o faltantes. Sin embargo, habrá que tener cuidado en que esta retroalimentación no aborde asuntos y problemas que no tengan que ver con el objetivo inicial de la gobernanza.

Diseño apropiado de indicadores para la gobernanza en la zona costera

Los indicadores para el desempeño de la gobernanza son instrumentos que proporcionan información cualitativa y cuantitativa sobre el desarrollo y los logros alcanzados para abordar de manera integrada una problemática de la zona costera. Ya sea ésta a través de las instituciones participantes, programas implementados, actividades realizadas o productos y resultados obtenidos a favor del ambiente, la comunidad o el proceso político de una zona costera que haya sido objeto de su intervención, dentro del marco de sus objetivos estratégicos y su visión.

Los indicadores de desempeño se emplean en todos los ámbitos de la zona costera. Se pueden encontrar indicadores financieros, demográficos, ambientales, etc. Y son imprescindibles para conocer la situación que guarda la zona costera en un momento concreto.

La medición del desempeño es parte del proceso de planificación (figura 3). El desempeño determina el grado al cual una intervención de gobernanza ha operado de acuerdo a ciertos estándares y logra los resultados y/o productos de acuerdo con los planes establecidos. Sin embargo es importante considerar que no todo lo que pueda ser contado cuenta y no todo lo que cuenta puede ser contado.

Un indicador de desempeño es por tanto, una variable cualitativa o cuantitativa que permite 1) verificar los cambios generados por una intervención de gobernanza, relativo a lo que estaba planeado inicialmente; 2) busca responder interrogantes claves sobre cómo se ha realizado la intervención; 3) verificar si se han cumplido los objetivos; 4) evaluar la medida en que hayan sido cumplidos; 5) conocer el nivel de satisfacción de la comunidad costera; y 6) busca evaluar qué tan aceptable ha sido el desempeño del grupo de gobernanza con el objetivo de tomar las decisiones e implementar las

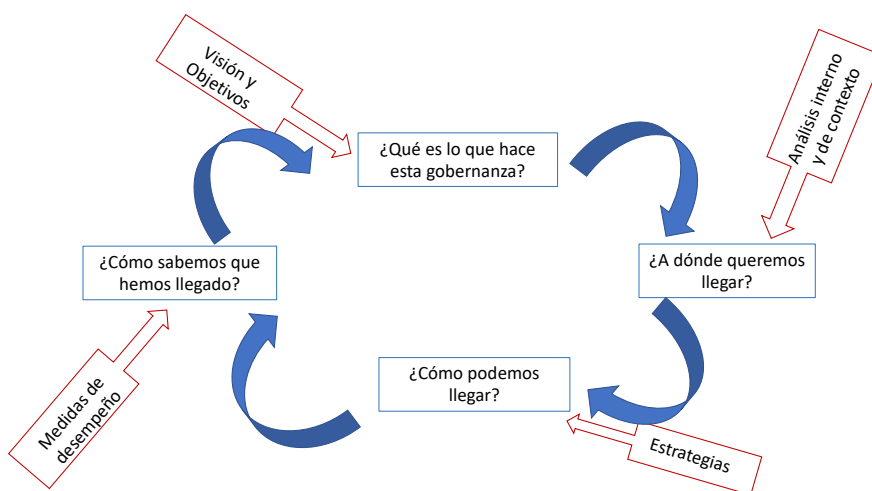


Figura 3. El desempeño de la gobernanza como parte del proceso de la planificación (Fuente: Autoría propia).

acciones necesarias para resolver una problemática.

Las dimensiones del desempeño de la gobernanza costera son cuatro (figura 4). Estas dimensiones se dividen en 1) eficacia, 2) eficiencia, 3) economía y 4) calidad. Los indicadores de eficacia miden el nivel de cumplimiento de los objetivos; esto es, el porcentaje de los resultados logrados exitosamente respecto a la relación realizado/solicitado. Miden también la focalización de esos resultados, esto es lo logrado con respecto a toda la zona costera. La eficacia mide la cobertura que es lo logrado respecto de la demanda posible; y mide el impacto de los resultados alcanzados respecto del problema que se quiere abordar.

Por su parte, los indicadores de eficiencia describen la relación entre los insumos o recursos que se utilizaron para alcanzar el beneficio ambiental o social buscado. Por ejemplo, mide la cantidad de servicios dado el mismo nivel de recursos o utilizando la menor cantidad de recursos posible.

Los indicadores de economía reflejan la capacidad para tener procesos transparentes y rendir cuentas sin problemas. De igual manera reflejan el uso actual de los recursos con relación a lo planeado.

Y los indicadores de calidad permiten medir la consistencia, diligencia y prontitud a las necesidades y problemática de la zona costera. Se puede medir de forma indirecta, al mejorar los atributos y características de los productos y resultados. O bien de manera directa a través del grado de satisfacción de los usuarios.

Construcción de indicadores de gobernanza costera

Como se dijo anteriormente, las evaluaciones deben ser un proceso permanente dentro de la gobernanza costera. Su desarrollo permite medir la capacidad para lograr los resultados según parámetros establecidos previamente y acordados al interior del grupo de gobernanza. El primer requerimiento es que los objetivos planteados se traduzcan

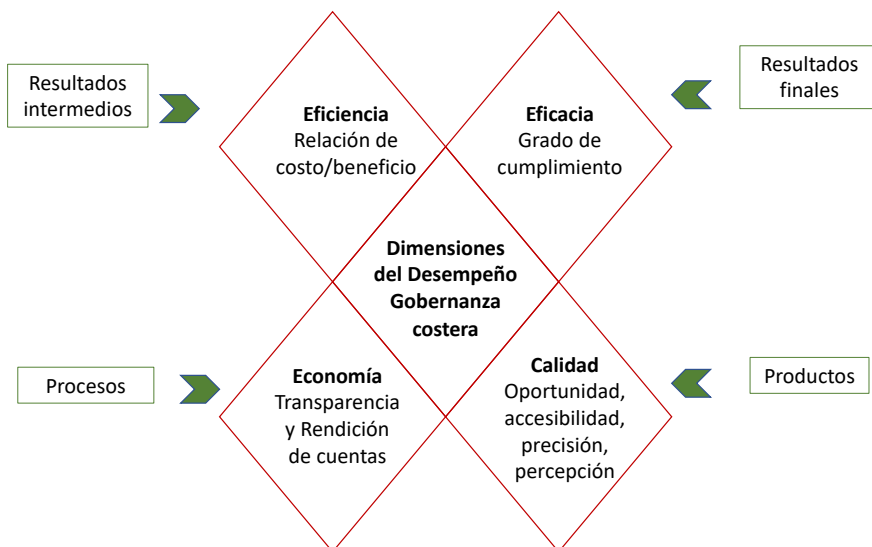


Figura 4. Dimensiones del Desempeño de la gobernanza costera (Fuente: Autoría propia).

en metas concretas de desempeño que pueden identificarse en el documento de estrategia. No hay que olvidar que los objetivos y metas deben estar en concordancia con el propósito para el cual la gobernanza existe y con el mandato público al cual debe responder.

Los pasos básicos para la construcción de indicadores se presentan en la tabla 2.

Para obtener la evidencia que sustente la verificación de los indicadores, se pueden incluir: a) estadísticas, b) material publicado, c) inspección visual, d) encuestas, e) informes de auditorías, f) registros contables, etc.

Tabla 2. Pasos básicos para la construcción de indicadores.

Pasos	Acciones
Identificar y/o revisar productos y objetivos.	¿Qué será medido?
Identificar las dimensiones y ámbitos de desempeño.	¿Qué ámbitos y dimensiones del desempeño es conveniente medir?
Establecer responsabilidades dentro de la gobernanza.	¿Cuáles serán las áreas responsables del desempeño logrado? ¿A qué niveles se realizará la evaluación?
Construir las fórmulas o algoritmos (figura 5).	¿Cómo se relacionan las variables de medición?
Establecer las metas o referentes para la comparación.	¿Sobre qué se compararán los indicadores para saber si el desempeño es adecuado?
Recopilación de información necesaria.	¿Qué datos y antecedentes permitirán la construcción de indicadores?
Validar: aplicar criterios técnicos y requisitos	¿Cómo saber que los indicadores construidos miden efectivamente la gestión y los resultados?
Analizar los resultados obtenidos	¿Por qué se produjeron los resultados?
Comunicar e informar	¿Quiénes tienen que conocer estos resultados?

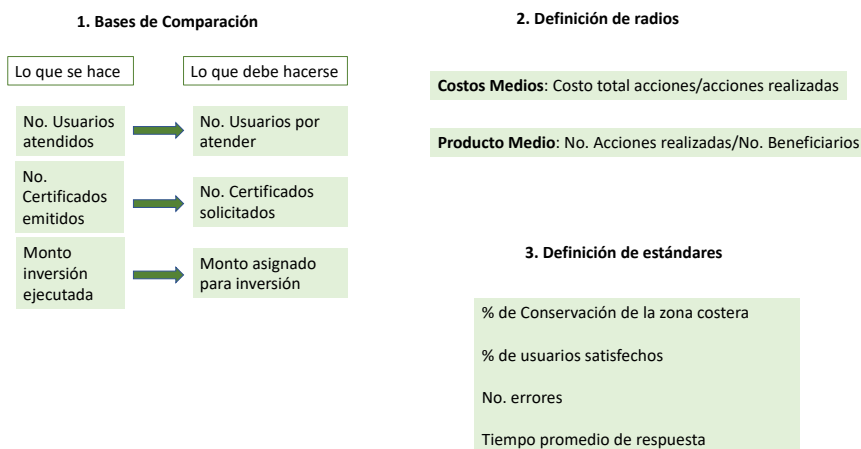


Figura 5. Relación de las variables de medición. (Fuente: Autoría propia).

Si hace falta información, será necesario incluir actividades para obtenerla. Incluso si no se puede obtener esa información habrá que cambiar el indicador. O bien, si existe más de una fuente de información habrá que verificar la consistencia de los datos. Todos estos medios de verificación deberán ser acordados dentro del grupo de gobernanza.

Por último, cada criterio de validación deberá cumplir con los siguientes requisitos:

Pertinencia. Debe referirse a los procesos y productos esenciales que desarrolla cada gobernanza para reflejar el grado de cumplimiento de los objetivos del grupo. La medición de todos los productos o actividades que realiza la gobernanza genera una saturación de información, tanto al interior de la misma como fuera de ésta.

Relevancia. Asegurarse que se están midiendo los objetivos vinculados a lo estratégico. Cuando se trata de gobernanzas que tienen más de un producto o resultado, es conveniente desarrollar un conjunto de indicadores globales que represente su accionar estratégico vinculado a su visión.

Homogeneidad. Este criterio implica preguntarse cuál es la unidad de producto (descargas de agua saneadas, superficie restaurada, resolución de conflictos efectuadas, etc.) y, más importante, procurar que dichas unidades de producto sean equivalentes entre sí en términos de los recursos institucionales que consumen (horas hombre, cantidad de insumos materiales, etc.). Se debe procurar que sean de igual “costo” en un sentido amplio del término. Si no se da la equivalencia, para alcanzar las metas se tenderá a ejecutar sólo las acciones que demandan relativamente menos recursos.

Independencia. Los indicadores deben responder en lo fundamental a las accio-

nes que desarrolla y controla la gobernanza o a las variables del entorno que se vean afectadas directamente por esas acciones. No puede estar condicionado a factores externos, tales como la situación general del país, la labor legislativa de la cámara de representantes o la actividad conexas de terceros (públicos o privados).

Costo. La obtención de la información para la elaboración del indicador debe incluir aquellos costos que tengan correlación.

Confiable. Digno de confianza, independiente de quién realice la medición. En principio la base estadística de los indicadores debe estar en condiciones de ser auditada por las autoridades del gobierno, financiadoras internacionales, etc., y examinada por observadores externos.

Simplicidad. Se deben cubrir los aspectos más significativos del desempeño, pero la cantidad de indicadores no puede exceder la capacidad de análisis de los usuarios, tanto internos como externos. Los indicadores deben ser de fácil comprensión, libres de complejidades.

Oportunidad. Debe ser generado en el momento oportuno dependiendo del tipo de indicador y de la necesidad de su medición y difusión.

No redundancia. Debe ser único y no repetitivo

Focalizado en áreas controlables. Focalizado en áreas susceptibles de corregir en el desempeño de los sectores participantes en la gobernanza, generando a la vez responsabilidades directas en los servidores públicos involucrados.

Participación. Su elaboración debe involucrar en el proceso a todos los actores relevantes (todos dentro de la gobernanza), con el fin de asegurar la legitimidad y reforzar el compromiso con los objetivos e in-

dicadores resultantes. Esto implica además que el indicador y el objetivo que pretende evaluar sea lo más consensual posible al interior de la gobernanza misma.

Para poder validar los indicadores, se quiere aplicar el cuestionario expuesto en la tabla 3.

Ejemplos de Indicadores de gobernanza costera

De acuerdo con The Economist (2015), el marco que considera las categorías de los indicadores de gobernanza costera es el presentado en la figura 6.

Tabla 3. Cuestionario propuesto para validar indicadores.

Validación	Si/No
El indicador tiene claramente un objetivo asociado y un producto relevante o estratégico con el cual se vincula .	
El indicador tiene claramente una meta o referente para medir su resultado.	
El resultado del indicador explica de forma precisa y clara el grado de cumplimiento de la meta o, el resultado es ambiguo.	
El indicador muestra o expresa de forma clara el resultado para poder ser analizado por el responsable.	
Se ha definido la frecuencia de medición del indicador.	
La unidad de medición es adecuada para la meta que se espera medir.	
En la construcción del indicador han participado todos los integrantes de la gobernanza.	
Los indicadores han sido validados.	

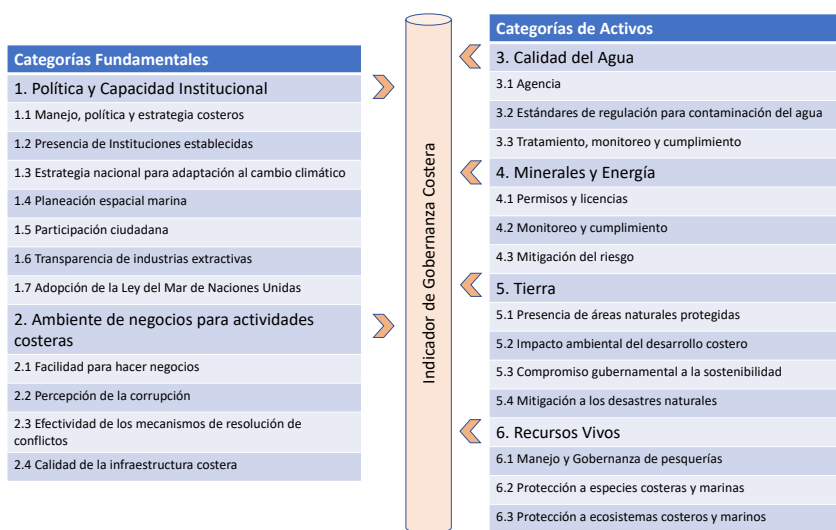


Figura 6. Algunos ejemplos de categorías e indicadores de gobernanza costera (Fuente: Modificado de The Economist, 2015).

Recomendaciones de las lecciones aprendidas de casos de estudio

No existen dos costas iguales, ya sea por sus características fisiográficas y ambientales como por su contexto socio cultural, económico y político. Es por esto que en esta sección se hace la revisión de ocho casos de estudio donde la construcción, los elementos presentes e implementación de la gobernanza costera obedece a las circunstancias prevalecientes y a las oportunidades que se suscitaron para abordar diferentes retos y problemáticas.

Trinidad y Tobago

Hassanali (2013) hace un estudio de la gobernanza costera y marina de Trinidad y Tobago donde identifica debilidades en la participación y coordinación entre los actores y usuarios de los espacios y actividades costeras. El país isleño se basa en los tratados internacionales sobre océanos, especialmente la Ley del Mar, Para identificar sus responsabilidades y obligaciones con respecto al mar y la costa, el país isleño se basa en los tratados internacionales sobre océanos, especialmente en la Ley del mar. Lamentablemente, Trinidad y Tobago carece de política costero-marina y la legislación nacional subsidiaria deja huecos o se queda corta, permitiendo libre acceso a la mayoría de las pesquerías, contaminación por diversas fuentes y un constante incremento en la navegación de aguas interiores. Por otra parte, la isla tiene una importante industria petrolera y de cruceros turísticos y embarcaciones comerciales que constantemente imponen presiones a las costas de ese país. Ante todo este panorama, el caso resalta la pobre capacidad institucional, sobre todo en la aplicación tradicional del marco regulatorio a través de la imposición

y de multas y otras penalidades que resultan contraproducentes. La visión sectorial no integrada es otra causa principal de la limitada gobernanza que no identifica sinergias entre sectores o entre diferentes órdenes de gobierno; ni reconoce los procesos que convergen al establecer colaboraciones entre órganos de manejo costero de problemáticas únicas o múltiples. Un último punto es la reconsideración del papel que juega el gobierno local para promover la integración espacial y fortalecer la gobernanza costera fortaleciendo cada uno de los puntos antes mencionados, incluyendo el uso de información científica para el análisis de la problemática y la toma de decisiones.

China

En respuesta a problemas costeros severos, el gobierno de China decidió implementar el manejo integrado costero a principios de los 1990s. Desde entonces se implementaron diversos casos de estudio (Kong *et al.*, 2015) que proveyeron lecciones de buenas prácticas, tales como: un liderazgo unificado y un manejo basado en el enfoque de arriba-hacia abajo, los que constituyeron parte del éxito para el establecimiento de su gobernanza costera. El enfoque de gobernanza es con orientación a atender un problema, por lo que se incluyen a los líderes del sector meta de la mano de los actores gubernamentales, los que son asesorados por una parte por los administradores de la gobernanza y por el otro por grupos de expertos y éstos por una participación cada vez más contundente del público en general. En China se emplea un sistema conocido como la gobernanza *tiao-kuai*, también

conocida como *Tiáotiáo-Kuàikuài* para enfatizar la pluralidad y describe el arreglo de la administración en ese país; donde el término *tiáo* se refiere a las líneas verticales de la autoridad sobre varios sectores que abarcan a todos los ministerios o secretarías del gobierno central. Mientras que *kuài* se refiere al nivel horizontal de autoridad del gobierno territorial hasta el nivel provincial y local. Considerando la orientación hacia abordar cada problemática desde el plano de la integralidad, los avances que se han hecho son el aumentar la participación del público hacia la restauración ecológica, el manejo integrado de la cuenca y la prevención y mitigación de desastres. Cada una de éstas, contiene acciones específicas de planeación y zonificación, mecanismos de eco-compensación, integración de las regiones cuenca arriba y cuenca abajo y avances de desarrollo sostenible en la costa.

Latvia

La gobernanza municipal costera en Latvia presenta varios retos. Lagzdina *et al.* (2017) identificaron que los tomadores de decisiones y demás actores en todos los niveles de gobernanza carecen de conocimientos y habilidades adecuadas para el diseño e implementación de un manejo integrado de la zona costera que permita el desarrollo de procesos de planeación efectivos. La costa de Latvia se caracteriza por tener zonas costeras estrechas, capacidades limitadas en administración, financiamiento, herramientas e instrumentos de planeación y personal; combinado con sistemas socio-ecológicos complejos. Lagzdina *et al.* (2017) utilizaron el marco de trabajo del Sistema de Enfoque para dar recomendaciones en los escenarios más eficientes de gobernanza. El modelo propuesto consistió en cinco componentes complementarios: desarrollo de grupos internos y externos

de colaboración mutua de gobernanza; desarrollo colaborativo de temáticas de integración vertical y horizontal; desarrollo de herramientas de colaboración para la gobernanza; evaluación de la gobernanza con indicadores de abajo-hacia arriba y de arriba-hacia abajo; y desarrollo de estrategias de comunicación para la gobernanza. Reconociendo que los sistemas socio-ecológicos de la costa de Latvia están basados en elementos interconectados de sistemas de recursos naturales, culturales, socioeconómicos y sistemas varios de gobernanza, el caso arrojó una adecuación de varios modelos de gobernanza tradicional existentes, hacia un escenario de gobernanza colaborativa, donde existen tres principales requerimientos: 1) debe basarse en resultados de investigaciones multidisciplinarias; 2) debe involucrar a usuarios y actores representativos de la zona costera y sus actividades y sectores; y 3) deberá incorporar elementos útiles de otros escenarios de gobernanza para su complementariedad.

Pacífico Central y Sur de México

Los procesos de gobernanza permiten orientar la toma de decisiones, los esfuerzos y recursos en aquellas necesidades más apremiantes para los usuarios de la zona costera. Pero dependiendo de los procesos estratégicos ya sea de planeación, de implementación, operación o fortalecimiento que se requiera para cada problema y/o tipo de costa, será la clase de indicadores y metas que se deseen utilizar. Azuz *et al.* (2015) realizaron un estudio en la región costera del Pacífico central y sur de México donde se encuentra una gran riqueza natural y grandes extensiones costeras sin desarrollar, pero que tiene uno de los niveles más altos de pobreza en el país, además de carencia de capacidades técnicas y científicas. En este contexto, la posibilidad de

desarrollar una gobernanza costera se basa en decisiones que parten del gobierno local hacia los habitantes, los cuales están más preocupados por resolver sus necesidades básicas que por la toma de decisiones sobre la planeación y desarrollo costero.

Kenia

La adaptación al cambio climático en las zonas costeras es necesario abordarla desde la gobernanza para garantizar su éxito ante múltiples retos. La gobernanza a través del manejo integrado de la zona costera genera las condiciones para acciones locales eficientes cuando se enfrentan retos del cambio climático, ya que el enfoque estructurado que proporciona al tratar con múltiples problemas costeros, al igual que la identificación y priorización de esos problemas; permite la toma de decisiones con la preparación, implementación y evaluación de estrategias. El caso de las costas de Kenia es presentado por Ojwang *et al.* (2017), que hace un recuento de la reciente creación de gobiernos locales los cuales tuvieron que asumir responsabilidades concernientes al cambio climático en las zonas costeras. El principal problema son las inundaciones y las sequías, que a su vez provocan erosión y pérdida de humedales. El estudio se enfocó en cinco ejes para construir las estrategias de adaptación a partir de la gobernanza de los temas financieros, sociales, políticos, humanos y ambientales, a partir de los cuales se identificaron los diferentes factores necesarios para construir la adaptación al cambio climático. El enfoque sistemático sirvió para la construcción de la línea base de la gobernanza contra la cual se evaluó el progreso de las respuestas de los gobiernos locales al cambio climático. De igual manera, se identificaron los factores internos y externos de la efectividad de esos cinco ejes que representaron el buen funcionamiento

del sistema de gobernanza en el cual operan los gobiernos locales. Además el análisis se enfocó en lo que los gobiernos locales están haciendo para adaptarse al cambio climático y los factores que puedan afectar a las acciones futuras. Algunas recomendaciones emanadas de este caso de estudio fueron las siguientes: a) desarrollar las capacidades humanas para conducir evaluaciones integrales de vulnerabilidad, b) planeación transectorial para el cambio climático, c) implementación del manejo integrado de la zona costera, d) desarrollar estudios y propuestas de ingeniería costera, e) dirigir presupuesto para el manejo del riesgo y la preparación contingente.

Italia

La integración vertical y horizontal de la gobernanza costera en Italia es evaluada por Martino (2016) basándose en la coordinación, la cooperación y la concertación nacional y regional del manejo integrado de las zonas costeras. Este caso consideró identificar los arreglos institucionales para el manejo de las costas, las percepciones sobre la forma de llegar a la integración, la evaluación de esa integración vertical y horizontal y la evaluación del proceso de madurez de la política de manejo integrado de la zona costera. La Unión Europea basa el manejo de sus costas en ocho principios que toman en cuenta una perspectiva temática y geográfica amplia, el principio de precaución, el manejo adaptativo, soluciones específicas y medidas flexibles, actividades ambientalmente amigables, socialmente responsables y económicamente adecuadas en el largo plazo, tomar en consideración a todas las partes interesadas, establecer alianzas con todas las partes pertinentes, y utilizar la combinación adecuada de instrumentos para facilitar la coherencia entre las políticas sectoriales y las políticas de pla-

neación y manejo. Los indicadores más importantes para medir la integración vertical (entre sectores) y horizontal (entre órdenes de gobierno) consideran los mecanismos formales para reunirse a dialogar, canales abiertos de comunicación, una persona dedicada exclusivamente al manejo costero, apoyo político para el proceso de manejo costero, existe cooperación rutinaria entre entidades, y hay mecanismos para revisar y evaluar el proceso de manejo dentro de la gobernanza costero-marina.

Gobernanza pesquera

Bavinck *et al.* (2015) presentan un caso de estudio sobre la gobernanza costera y las formas tradicionales de manejo de las pesquerías. Las organizaciones pesqueras tienen diferentes motivaciones que resultan en sus propios arreglos, tales como intereses ambientales, económicos, sociales o políticos. Éstos se traducen en ejercicios de autoridad sobre extensiones de tierra, aguas costeras adyacentes, esto en conexión con sus necesidades de vivienda, aparcamiento de lanchas y zonas de mercadeo. Sin embargo, muchas de las organizaciones pesqueras poseen poca especialización, muchas son informales, son de corte social, operan a baja escala y se basan menos en conocimientos científicos. Un elemento relevante es que ejercen una gobernanza sobre el espacio marino-costero en el que basan todo su funcionamiento. Éste está vinculado con derechos especiales que pueden haberse otorgado por tradición de usos y costumbres, o por alguna autoridad superior. Existen entonces prerrogativas territoriales y éstas prescriben los usos de esas áreas y sus recursos. Ejemplos de esto son las cofradías pesqueras en España, Maszoperias en Polonia, co-manejo para el corporativismo en Noruega, y el *uur panchayats* en India. En los cuatro casos el

gobierno ha hecho un papel importante en acotar su funcionamiento y otorgan legitimidad y reconocimiento de membresía. La gobernanza que se construye con cada tipo de organización, permite establecer el sentimiento de pertenencia, la resolución de conflictos, el mantenimiento de recursos, proveer ganancias y mantener un estado de justicia. De la misma forma, esta gobernanza permite abordar adecuadamente las externalidades separando las competencias por usos en tiempos y espacios, y evitando prácticas nocivas e ilegales. Por su importancia, la gobernanza costera debe tomar en cuenta a las gobernanzas pesqueras para evitar resentimientos sociales, para aprovechar su responsabilidad corporativa con la población costera, y por respeto a sus usos y costumbres.

Turismo

La innovación de la gobernanza en el turismo costero es presentado por Hjalager (2017). Considerando que la oferta de turismo requiere de constante innovación, la gobernanza debe incluir cambios en el contenido y metodologías para el diseño de reglamentaciones, establecimiento de esas reglas y su implementación. Esto cambia no sólo la conducta de los turistas sino también los incentivos, por ejemplo el turismo vivencial. En otro caso de gobernanza, los involucrados en el espacio costero fueron los que tuvieron que cambiar su conducta y establecieron alianzas con el gobierno para cofinanciamiento y orientación para establecer una organización de usuarios de la cuenca que podía ser la contraparte del gobierno en la toma de decisiones e implementación de acciones que actualmente permite prescribir de forma precisa las obligaciones y privilegios de los propietarios de esa costa. Uno de los problemas con el turismo es el im-

pacto que ocasionan en las zonas costeras y marinas. Sin embargo, ellos no son los únicos responsables y se deben considerar a todos los usuarios dentro de la cadena de servicios y de valor en la oferta turística. La gobernanza debe entonces considerar el establecimiento de lineamientos de conducta para los turistas, así como compromisos de parte de los operadores y servidores turísticos. Dentro de la gobernanza, el diseño e implementación de un plan local orientado a resolver un problema específico es muy importante. El plan deberá contener las consideraciones, los procesos y los pasos del caso, así como los tiempos para alcanzar cada uno de ellos. Este plan podrá ser legal-

mente vinculante dependiendo de lo que se trate (*e.g.* patrimonio histórico), pero a la vez flexible y adaptable a las circunstancias para evitar al máximo la oposición. Una innovación en gobernanza se da en el caso de la asociación de senderismo, en este caso de bicicleta, pero que puede ser adoptado por senderos piloteados dentro del manglar, las marismas y humedales. La asociación se conforma de todos aquellos que compran un pase anual o un boleto por más de tres días y entre ellos se organizan para hacer trabajos dentro del sendero. De igual forma la asociación establece alianzas para conseguir patrocinadores de empresas y organizaciones de la sociedad civil.

Literatura citada

- Azuz-Adeath, I., C. García-Gutiérrez, H. Alonso-Peinado, C. Torres-Navarrete, y S. Díaz-Mondragón, 2015. Design and evaluation of marine and coastal governance indicators for the Southern Mexican region. *Jour. of Integrated Coastal Zone Management*, 15(3): 333-351. DOI: 10.5894/rgci578 <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rgci/v15n3/v15n3a04.pdf>
- Bavinck, M., S. Jentoft, J.J. Pascual-Fernández, y B. Marciniak, 2015. Interactive coastal governance: the role of pre-modern Fisher organizations in improving governability, *Ocean and Coastal Management*, 117: 52-60 <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.012>
- Hassanali, K., 2013. Examining the ocean and coastal governance framework in Trinidad and Tobago. Transitioning towards integrated coastal zone management. The UN Nippon Foundation of Japan Fellowship Programme. http://www.un.org/depts/los/nippon/unfff_programme_home/fellows_pages/fellows_papers/Hassanali_1314_T&T.pdf
- Hjalager, A.M., 2017. Governance innovation cases in coastal tourism. Kolding. http://findresearcher.sdu.dk/portal/files/134192449/Innocost_Governance_innovations_case_studies_August_2017.pdf
- Innocost_Governance_innovations_case_studies_August_2017.pdf
- Kong, H., X. Xue, Z. Mao, S. D. Ngoran y W. Yang., 2015. Toward integrated coastal governance with Chinese characteristics -A preliminary analysis of China's coastal and ocean governance with special reference to the ICM practice in Quanzhou. *Ocean and Coastal Management*, 111: 34-49 <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.04.008>
- Lagzdina, E., I. Kudrenickis, R. Ernsteins y A. Lontone, 2017. Municipal coastal governance towards rural community resilience development: scenarios and tolos. Sustainable development and Planning IX, WIT *Transactions on Ecology and the Environment*, 226; doi: 10.2495/SDP170261
- Martino, S., 2016. An attempt to assess horizontal and vertical integration of the Italian coastal governance at national and regional scales. *Jour. Integrated Coastal Zone Management* 16(1): 21-33 DOI: 10.5894/rgci616
- McLaughlin, R.J., 2010. A Review of Coastal Governance, 16 *Ocean & Coastal Law Jour.* <http://digitalcommons.maine.edu/oclj/vol16/iss2/12>

- Ojwang, L., S. Rosendo, L. Celliers, D. Obura, A. Muiti, J. Kamula y M. Mwangi, 2017. Assessment of coastal governance for climate change adaptation in Kenya, *Earth's Future*, 5: 1119-1132 doi: 10.1002/2017EF000595
- Pittman, J., D. Armitage, S. Alexander, y D. Campbell, 2015. Governance fit for climate change in a Caribbean coastal-marine context. *Marine Policy*, 486-498 <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2014.08.009>
- The Economist, 2015. Coastal Governance Index. Intelligence Unit. https://www.oceanprosperityroadmap.org/wp-content/uploads/2015/05/EIU_CGIndex_WEB-revised-June-4.pdf

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Análisis y evaluación gubernamental de mares y costas en México: hacia una evaluación integral

M. García Chavarría, G. Enríquez y E. Rivera-Arriaga

Resumen

En este capítulo se describe y analiza la implementación y desarrollo de la evaluación gubernamental en materia de océanos y costas, se hace énfasis en la importancia de este proceso a partir del aprendizaje y la reflexión, considerando la evaluación como un aporte del proceso de decisión dentro del poder político. A partir del año 2012 la OCDE, incorpora un marco coherente en el desarrollo de la evaluación del desempeño, el cual tiene el objetivo de ser usado para mejorar la toma de decisiones, a través

de herramientas prácticas para la planificación estratégica, la gestión de riesgos, el monitoreo del progreso y la evaluación de resultados. En este trabajo se presentan los resultados de una propuesta para el diagnóstico de la condición actual para el cumplimiento del desempeño institucional de la Comisión Intersecretarial de Mares y Costas (CIMARES), considerando el marco legal, administrativo y político, que son el conjunto de normas, leyes y procedimientos administrativos, que están basados en el del Plan Nacional de Desarrollo, la Política Nacional de Mares y Costas de México (PNMCM) y el reglamento de la CIMARES. Dicho cumplimiento tienen como propósito fortalecer la capacidad de la CIMARES para evaluar su desempeño como organismo coordinador de las instituciones gubernamentales que inciden en océanos y costas. Asimismo, la propuesta del Sistema de Evaluación de Desempeño (SED), contribuye a la implementación bajo principios de verificación del grado de cumplimiento de metas y objetivos, con base en indicadores estratégicos y de gestión, como son los de efectividad, eficiencia y eficacia, para evaluar las metas planeadas y el desempeño logrado. Es un hecho que México, ha implementado acciones de mitigación y adaptación para mejorar las zonas costeras, ante los efectos del cambio climático, así como iniciativas a nivel nacional e internacional, sin embargo es necesario fortalecer la sinergia entre las instituciones gubernamentales que inciden en océanos y costas y la capacidad institucional, que atiende la planeación y la gestión integrada en la zona costera, que determinen mejores formas de evaluación integral, a través de procedimientos legales, administrativos y políticos para propiciar procesos de desarrollo sustentable en los mares y costas de México sin sacrificar el capital natural existente.

Palabras clave: evaluación institucional, eficiencia, efectividad, eficacia, zona costera, CIMARES.

Introducción

El manejo integrado de la zona costera (MIZC) es un proceso de gobierno que consiste de un marco legal e institucional que asegure que los planes de desarrollo y gestión para las zonas costeras estén integrados con las metas ambientales y sociales. Más aún, se sugiere que los diferentes temas estén incluidos en un programa¹ de naturaleza integrada –manejo integrado de la zona costera o MIZC– para atender no sólo los

temas ambientales, sino también los múltiples problemas de desarrollo, por lo que esta aproximación a la planeación y gestión de áreas costeras es muy compleja. Dentro de esta integración, es importante contar con la participación de los usuarios y actores afectados, con el fin de maximizar los beneficios que brinda el ambiente costero y al mismo tiempo minimizar el conflicto entre usuarios (Post y Ludin, 1996).

1 En este capítulo se usará el término programa, como mecanismo a través del cual la acción pública pretende implementar una serie de acciones para resolver una problemática y evaluar el resultado.

Como un requerimiento esencial, los temas contenidos en los programas de MIZC, deben ser evaluados y en este sentido se cuenta con guías propuestas por el Banco Mundial (1996), Olsen *et al.* (1999), UNESCO (2003 y 2006), las cuales describen los principales avances que se han tenido no sólo en la propuesta metodológica, sino también en el fortalecimiento del propio MIZC. Sin embargo, los contenidos de dichas guías representan un esquema general en cuanto al tipo de evaluación que se debe de realizar o los indicadores que pueden ser utilizados, ya que los contextos jurídicos, administrativos, así como la experiencia de cada nación costera en la evaluación de planes gubernamentales, determinan en gran medida el tipo de evaluación que se puede realizar.

Con la importancia que ha adquirido el tema de cambio climático en las última década, la complejidad en el diseño y evaluación de programas para la zona costera y marina aumenta, considerando que muchas veces las administraciones públicas en distintos países, así como los organismos internacionales, tienden a separar las agendas en temas particulares como océanos y costas o la adaptación al cambio climático, dejando de lado un marco de coordinación y colaboración para la planeación e implementación de ambos temas de forma simultánea, tal y como lo plantea la visión de manejo integral de zona costera.

En particular, las evaluaciones de cualquier programa de gobierno que se realice de manera formal o informal, requieren de un nivel de simplificación que permita establecer criterios de evaluación o indicadores que sean aplicables dentro de las capacidades públicas para entregar resultados confiables acerca del desempeño del programa. Lo anterior requiere de un esfuerzo

por parte de la instancia gubernamental encargada de generar el programa, para establecer formas en los que los objetivos, las metas o las acciones, sea medibles y aporten información acerca de los efectos de la acción pública con la cual se pretenden regular o resolver las problemáticas.

La calidad de la evaluación estará determinada en gran medida por las formas que se establezcan para evaluar los objetivos, las metas o las acciones consideradas en el programa, así como la regularidad con la cual se vaya obteniendo la información necesaria, a través de los esquemas de monitoreo y de recolección de datos, asumiendo en algunos casos que el nivel de incertidumbre que existe en la medición de alguna variable o tema ambiental, social o económico no puede ser resuelto en la primera fase de la implementación del programa.

En el caso de México, dichas evaluaciones adquieren mucha relevancia debido al tema de la rendición de cuentas (RDC) el cual representa la forma que tiene el gobierno de dar a conocer la manera en que los programas y presupuestos se han implementado, así como su grado de éxito. Con la regularidad con que la RDC sea un procedimiento común, donde se den a conocer los resultados ya señalados, obligará a las autoridades de gobierno a generar indicadores y procedimientos de evaluación específicos para los distintos temas que la administración pública tiene por obligación cumplir.

Aunque formalmente en México no existen como instrumento de política los programas de MIZC, el sector de medio ambiente estableció en el 2008 la Comisión Intersecretarial de Mares y Costas (CIMA-REAS) cuyo objetivo ha sido desde entonces coordinar, en el ámbito de sus respectivas competencias, las acciones de las depen-

dencias y entidades de la administración pública federal relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la planeación, ordenación y desarrollo sustentable de los mares y las costas del territorio nacional (DOF, 2008), donde la transversalidad y la relación entre los diferentes niveles de gobierno permitan la implementación de programas, así como la inclusión de nuevos temas que impacten la zona costera y marina del país.

En este capítulo se plantea establecer un análisis de las capacidades administrativas con las que cuentan las diferentes áreas de gobierno que participan en la CIMARES para el cumplimiento de los compromisos inter-

nacionales en materia de cambio climático para océanos y costas, basado en una serie de documentos legales, así como para el cumplimiento de los Objetivo de Desarrollo Sustentable 14 (ODS 14) sobre vida submarina. Se presenta además, la propuesta de una serie de indicadores que permitan a la CIMARES evaluar la eficacia, la eficiencia y la efectividad de su trabajo como estructura organizativa dentro en la administración pública federal, con relación al cumplimiento de su objetivo y de los temas antes mencionados, como un primer paso que permita establecer un sistema de RDC para dicha comisión.

Rendición de cuentas institucionales para la zona costera de México, un tema pendiente

El desarrollo de la rendición de cuentas (RDC) en México ha sido explorado en los últimos diez años con mayor fuerza. Es importante remarcar que la actividad de “rendir cuentas” se desprende de la obligación de los gobernantes de informar sobre sus actos y decisiones a sus gobernados. Rendición de cuentas es un término que se traduce del inglés y que significa “*el estado de ser sujeto a la obligación de informar, explicar o justificar algo; ser responsable de algo ser sujeto y responsable para dar cuentas y responder a preguntas*” o “*ser sujeto a la obligación de reportar, explicar o justificar algo; ser responsable ante alguien de algo*”, (Ugalde, 2002). Esta definición común implica simplemente llevar a cabo la actividad de dar un informe de aquellas actividades realizadas en un mandato. Sin embargo, no existe el requerimiento de conocer las razones por las que se tomaron esas decisiones que son reflejo de las acciones implementadas y

cómo podrían mejorarse las acciones realizadas por los gobernantes.

La RDC tiene la finalidad de conocer lo eficiente y eficaces que fueron los resultados de las decisiones tomadas por los servidores públicos. Para que este ejercicio pueda cumplir con su objetivo, se debe tener la obligación de ejercerlo de manera transparente, al mismo tiempo de justificar los actos derivados del ejercicio y sancionar dependiendo del impacto o daño causado. Para cumplir con esto último, la RDC debe contar con órganos reguladores que estén fundamentados en el marco institucional de la administración pública. Estos órganos deben ser capaces de regular a los sectores políticos, económicos, sociales y aquellos que tienen la facultad de brindar el acceso a la información.

Los órganos reguladores independientes pueden estabilizar las decisiones en torno a ciertas políticas regulatorias al actuar como

agentes capaces de orientar las agendas y con ello, establecer las condiciones para alcanzar los objetivos de los ordenamientos legales (López y Haddou 2007). El concepto de RDC es más amplio que la simple obligación del actor público de dar cuentas de lo que hace, se debe tener un claro entendimiento del concepto y su definición, ya que esto permitirá que exista una mayor congruencia entre el deber hacer y lo que realmente se hace.

Lo cierto que México, a través del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y del Programa de Cambio Climático (PCC) –ambos del sexenio 2013-2018– plantearon estrategias que derivaron en acciones de mitigación y adaptación para hacer frente a los efectos del cambio climático, no todas cumplieron su objetivo. Sin embargo, en los resultados reportados por García Chavarría (2019), se observó que uno de los principales proble-

mas fue la ineficiencia institucional ocasionada por diferentes factores, en especial la falta de un canal de comunicación entre las instituciones que conforman a la Comisión Intersecretaría de Costas y Mares (CIMA-RES), originando que no exista una coordinación inter-institucional.

Por otra parte, la opacidad que existe dentro de los gobiernos de los tres órdenes, hace que la información siga siendo inaccesible, restringida e incompleta; aun con la existencia de una ley de transparencia y acceso a la información, se encontraron dos factores que dificultaron o impidieron el acceso a la información: 1) la desactualización de los sistemas de acopio de datos en temas de océanos y costas ante el cambio climático y 2) algunos funcionarios consideran que no están obligados a proporcionar dicha información.

Rendición de cuentas considerando el marco legal

La rendición de cuentas considerando el marco legal, se define como el sistema que constituye el mecanismo central para la generación, captación, procesamiento y publicación de la información que debe servir para la toma de decisiones y la evaluación de la acción gubernamental, y por ello, se suma a los instrumentos necesarios a la rendición de cuentas (López y Merino, 2009). La RDC implica el conjunto de leyes, normas y reglamentos, entre otros documentos normativos que regulan las actividades del gobierno. El marco legal está compuesto tanto por los instrumentos de derecho internacional ratificados por México, como por la ley orgánica de la función pública; y proporciona las bases sobre las cuales las

instituciones construyen y determinan el alcance y naturaleza de su participación política.

Ramírez y Hernández en el 2014, mencionaron que la rendición de cuentas trata de analizar las disposiciones archivísticas que el marco legal suscribe, para mostrar una condición tangible donde pueda acrecentarse la evaluación e inclusive la mejora en el actuar de las instituciones. De modo que, de manera conjunta, las suscripciones legales sostengan en la praxis los elementos necesarios para concebir o no la existencia de una política archivística federal en México. Por lo anterior, la importancia del documento prevalece en brindar información correcta y efectiva, que permita conocer el

grado de cumplimiento de la meta establecida. A través del uso de la información generada por las acciones realizadas a nivel individual e institucional, son plasmadas en los documentos que construyen los archivos los cuales son claves para el desarrollo de la rendición de cuentas.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su Artículo 6, establece que el derecho a la información será garantizado por el estado y que toda persona tiene derecho al libre acceso a la información plural y oportuna. El 4 de mayo de 2015, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública (LGTAIP), que establece como principal objetivo la promoción, fomento y difusión de la cultura de la transparencia en el ejercicio de la función pública, el acceso a la información y la participación ciudadana, así como la rendición de cuentas. La LGTAIP dentro de su interpretación y aplicación tiene como principio principal la máxima publicidad, ya que toda la información en posesión de los sujetos obligados será pública, completa, oportuna y accesible, sujeta a un claro régimen de excepciones que deberán estar definidas y ser además legítimas y estrictamente necesarias en una sociedad democrática.

Por lo tanto, la transparencia y la organización de los documentos son parte fundamental para la actividad que ejerce el deber público de la rendición de cuentas. Es esencial recalcar que la parte normativa refuerza la factibilidad de la rendición de cuentas.

Sin embargo, es importante aclarar que las normas serán efectivas si la ejecución de los mecanismos políticos, presupuestales, administrativos y legales, que contienen acciones de supervisión y cumplimiento. Entre estos mecanismos pueden enlistarse: el derecho al acceso a la información, el deber de publicar la información, incluyendo los procedimientos y las decisiones administrativas y judiciales, la evaluación del impacto normativo, las auditorías, los reportes, e incluso las revisiones judiciales de las decisiones (López, 2007).

A continuación, se presenta un análisis institucional basado en: 1) las responsabilidades para el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de cambio climático para océanos y costas, así como para el cumplimiento de los Objetivo de Desarrollo Sustentable 14 (ODS 14) sobre vida submarina y 2) la falta de capacidad para cumplir con dichas responsabilidades. Para reunir esta información, se elaboró un cuestionario el cual se envió a distintas instancias, además de revisar una serie de documentos legales de cada dependencia involucrada, para conocer sus competencias y establecer qué tan aptas son para contribuir desde sus respectivas atribuciones con el cumplimiento de los compromisos señalados (tabla 1).

Como se puede observar en la tabla 1, las instituciones no contienen en sus leyes, reglamentos, y documentos normativos, el área de océanos y costas; sin embargo, son convocados por la CIMARES.

Tabla 1. Análisis institucional del marco legal institucional y los ODS 14.

	Marco Legal			
	Leyes / Reglamentos	Documentos normativos	Marco jurídico para la gestión ambiental. Océanos y costas. Documental y respuestas de cuestionario)	Captación procesamiento y publicación de la información
CIMARES				
SEGOB	⊙	⊙	⊙	⊙
SEMARNAT	⊙	⊙	⊙	⊙
SEDESOL	⊙	⊙	⊙	La publicación de documentos corresponde a programas sociales para combatir la pobreza.
SEDATU	⊙	⊙	×	La publicación de documentos corresponde a orden territorial, pero no costero.
SE	⊙	⊙	⊙	⊙
SENER	⊙	⊙	⊙	⊙
SER	⊙	⊙	⊙	⊙
SAGARPA	⊙	⊙	La SAGARPA tiene participación en algunos aspectos de océanos y costas, sin embargo, dijo que el tema no es prioritario para la secretaria.	⊙
SCT	⊙	⊙	⊙	⊙
SECTUR	⊙	⊙	⊙	⊙
SEMAR	⊙	⊙	⊙	⊙
ODS 14				
CENAPRED	⊙	⊙	⊙	⊙
CONABIO	⊙	⊙	⊙	⊙
CONAFOR	⊙	⊙	⊙	⊙
CONANP	⊙	⊙	⊙	⊙
INECC	⊙	⊙	⊙	⊙
NEGI	⊙	⊙	⊙	⊙
PEMEX	⊙	⊙	⊙	⊙
PROFEPA	⊙	⊙	⊙	⊙
SALUD-COFEPRIS	⊙	⊙	SALUD-COFEPRIS dijo que sus acciones no tienen injerencia en océanos y costas.	×
SEP	⊙	⊙	⊙	⊙
SHCP	⊙	⊙	⊙	⊙
Elaboración propia con datos obtenidos de los programas sectoriales, informes de labores y datos recabados de los cuestionarios enviados para medir el desempeño institucional, a las instituciones de CIMARES y aquellas que tienen participación para el cumplimiento del ODS14.				

Rendición de cuentas dentro del marco administrativo

La rendición de cuentas dentro del marco administrativo es el conjunto de normas y procedimientos que tiene como propósito fortalecer la transparencia, legalidad y el sentido democrático de las responsabilidades públicas y sancionar positiva o negativamente a los actores que las asumen (Olivera, 2011). Es a partir de la publicación del quehacer gubernamental de manera sistemática y con oportunidad de claridad y la explicación de las razones, los propósitos, los costos y los beneficios que los sustentan, que se pueden aplicar sanciones y compensaciones, así como exigir cambios en el actuar del gobierno.

Esta rendición de cuentas está relacionada directamente con el aparato público y con un sistema de control, que en conjunto desarrollan acciones que tienen como finalidad el fortalecimiento, la transparencia y la legalidad de las normas y procedimientos para un buen funcionamiento y cumplimiento para el cual fueron creadas las instituciones. La rendición de cuentas administrativa revisa que los actos burocráticos sean expeditos y sus procedimientos, correctos (Lopez y Haddou 2007). Por lo que las unidades administrativas tienen la responsabilidad de la actuación de los

actores políticos, que llevan a cabo la implementación de las acciones y estrategias acordadas, para el cumplimiento de los objetivos de las políticas públicas establecidas.

Es importante mencionar que la actividad de los servidores públicos tiene un peso importante en el área administrativa y política, y se debe entender que contar con una cadena de responsabilidades adecuada, permitirá un mayor desempeño institucional y logrará un buen ejercicio de la rendición de cuentas administrativa.

En la tabla 2, se analizaron las capacidades administrativas que regulan las actividades de las áreas de gobierno que participan en CIMARES para el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de cambio climático para océanos y costas y para el cumplimiento del ODS 14 vida submarina.

En la tabla 2, se distingue que en la mayoría de las instituciones, los programas sectoriales atienden necesidades de cambio climático, contribuyendo a las metas establecidas del PCC 2013-2018, sin embargo, algunas secretarías como SEDESOL, SEDATU, SAGARPA, SALUD, PROFEPA y SEP atienden aspectos de CC en general y las necesidades de océanos y costas no son prioridad.

Rendición de cuentas del marco político

Esta RDC implica el cumplimiento del Plan Nacional de Desarrollo vigente, determinando sus alcances y metas cumplidas; así como la Política Nacional para el Desarrollo Sustentable de Mares y Costas (2018). La rendición de cuentas del marco político

se inscribe en la dinámica de las relaciones de poder, lo cual implica que responda al imperativo de que haya actores, procesos y exigencias, que presionen para que su ejercicio se efectúe bajo la lógica compleja de los pesos y contrapesos (Uvalle, 2016).

Tabla 2. Capacidades administrativas de las instituciones de gobierno que participan en CIMARES.

	Marco administrativo						Informes de evaluación
	Estructura normativa	Procedimientos administrativos documentados.	Infraestructura operativa y tecnológica especializada en o y c.	Ejercicio presupuestal para O y C.	Programas sectoriales contribuyen con el PECC 2013-2018	Programas presupuestales contribuyen con los programas sectoriales en las metas que atienden O y C.	
CIMARES							
SEGOB	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
SEMARNAT	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
SEDESOL	⊙	⊙	×	×	×	×	⊙
SEDATU	⊙	⊙	×	×	×	×	⊙
SE	⊙	⊙	×	⊙	⊙	Atiende CC en general.	⊙
SENER	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
SRE	⊙	⊙	×	×	⊙	×	⊙
SAGARPA	⊙	⊙	×	×	⊙	×	⊙
SCT	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
SECTUR	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
SEMAR	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
ODS 14. Marco administrativo							
CENAPRED	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
CONABIO	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
CONAFOR	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
CONANP	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
INECC	⊙	⊙	⊙	Ejercicio presupuestal para CC.	⊙	Atiende CC en general.	⊙
NEGI	⊙	⊙	El INEGI, trabaja con la infraestructura, operativa, tecnológica y con la información del resto de las instituciones, que trabajan en CC y tienen incidencia en O y C.				⊙
PEMEX	⊙	⊙	⊙	PEMEX destina parte de su presupuesto operativo a llevar acciones de mitigación y adaptación y reparar daños por hidrocarburos.			⊙
PROFEPA	⊙	⊙	×	×	⊙	×	⊙
SALUD-COFEPRIS	⊙	⊙	×	×	×	×	⊙
SEP	⊙	⊙	×	×	⊙	×	⊙
SHCP	⊙	⊙	La SHCP, otorga un presupuesto a través del anexo transversal para CC, es tarea de cada dependencia decidir para que áreas de CC lo reparten durante su año fiscal.				⊙
Elaboración propia con datos obtenidos de los programas sectoriales, informes de labores y datos recabados de los cuestionarios enviados para medir el desempeño institucional, a las instituciones de CIMARES y aquellas que tienen participación para el cumplimiento del ODS14.							

Éstos se diseñan sobre la base de que el poder funcione con eficacia, asegurando la correlación de fuerzas y la estabilidad de las relaciones que sustentan su funcionalidad.

Por lo anterior, es importante hacer alusión que las interacciones entre actores siempre tendrán un objetivo que perseguir y éstas a su vez causarán acciones y reacciones a lo que el poder decida qué hacer a través de la toma de decisiones. Los estudiosos del tema de la RDC concuerdan que debe existir una estabilidad, que a su vez debe estar correlacionada, a través de las reglas de operación, procedimientos y políticas públicas, y que estas acciones determinarán la dirección del estado y el sentido de operación del gobierno.

En consecuencia, la RDC responde al diseño del régimen político entendido como la organización, el funcionamiento y el ejercicio del poder sobre la base de asignar costos públicos, así como definir y aplicar tanto incentivos positivos como negativos para asegurar la gobernabilidad del estado (Berrones, 2016). De igual forma la interacción entre la sociedad y el estado está constituida a través de las instituciones, los procesos, las decisiones, los recursos y las normas. Es a través del cumplimiento de las metas y estrategias, donde se involucran y otorgan beneficios a la sociedad. Esto se puede observar por medio del cumplimiento y desarrollo del ejercicio del poder político, que recae en las instituciones y genera una estructura democrática misma del régimen político.

La investigación realizada en el caso de México dentro de la RDC en el marco político, se basó en el cumplimiento de los gabinetes especializados. El documento, publicado en el Diario Oficial de la Federación, señala que esas instancias son las encargadas del análisis, definición, coordinación,

seguimiento y evaluación de las políticas, estrategias y acciones, competencia de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal.

- El gabinete especializado de **México Incluyente** lo conforman la secretaría de SEDESOL, que lo coordina; la SEGOB, SRE, SHCP, SEMARNAT, SAGARPA, SCT, SEP, SSA y STPS. Además, participan la Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal, la Oficina de la Presidencia de la República, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE).
- El gabinete especializado de **México en Paz** está integrado por las secretarías de Gobernación (SEGOB), a la cabeza; SRE, SEDENA, SEMAR, SHCP y SFP. Así como la Procuraduría General de la República (PGR), la Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal, Oficina de la Presidencia de la República, por el Comisionado Nacional de Seguridad, y por el Centro de Investigación y Seguridad Nacional.
- El gabinete especializado de **México con Educación de Calidad** está integrado por las secretarías de Educación Pública SEP, que lo coordina; SEGOB, SRE; SHCP, SEMARNAT; SSA y STPS. Además de la Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal, la Oficina de la Presidencia de la República, el Consejo Nacional de Fomento Educativo, el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, el Fondo de Cultura Económica y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- En el gabinete especializado de **México Próspero** está integrado por: la SHCP que lo coordina la SEGOB, SRE, SEDESOL, SEMARNAT, SAGARPA, SCT, SSA, STPS, SECTUR, SEDATU y SENER. Así como por

la Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal, la Oficina de la Presidencia de la República, Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, IMSS, ISSSTE, la Comisión Nacional del Agua y el CONACYT.

- El gabinete especializado de **México con Responsabilidad Global** se integra por la SRE, que lo coordina, así como SEGOB, SHCP, SEDENA, SEMAR, SEMARNAT, SENER, SE, SAGARPA, SCT, SEP, SSA, SECTUR, PGR, la Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal, la Oficina de la Presidencia, el Instituto Nacional de Migración y el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

Se analizaron las instituciones que conforman la estructura de CIMARES y las que son parte del ODS 14; si éstas fueron parte de los gabinetes especializados y si incluyeron e implementaron, metas y estrategias para hacer frente al cambio climático en materia de océanos y costas. La tabla 3 se realizó con los datos obtenidos de los programas sectoriales de las instituciones, los informes de actividades, el PECC, el PND y la información obtenida de las respuestas obtenida de los cuestionarios enviado a las instituciones correspondientes.

La tabla 3 presenta el análisis de aquellas instituciones que estuvieran integradas a los diferentes gabinetes, observándose que las instituciones perteneciente a CIMARES con mayor presencia en los cinco gabinetes son: SEGOB, que integra a la CENAPRED, SRE, SEDESOL, SEMARNAT, SAGARPA, SEMAR, SCT, SECTUR, SEP y SHCP. Estas instituciones se avocan a implementar, observar y

evaluar las acciones de mitigación y adaptación para hacer frente al CC, sin embargo no lo hacen de manera general.

La RDC, tiene un alcance mayor que sólo la tarea de los gobernantes de informar sobre sus actos y decisiones. La RDC debe ser un conjunto de obligaciones y responsabilidades de los servidores públicos al igual que de los ciudadanos. Dentro de la implementación de una política pública deben existir instituciones evaluadoras descentralizadas del gobierno federal que deban tener una mayor capacidad institucional, contar con los mecanismo e instrumentos necesarios para que las responsabilidades asignadas cumplan con los objetivos y metas establecidos.

En conclusión, la evaluación del desempeño institucional permitirá conocer el grado en el cual una intervención pública o un actor del desarrollo opera de acuerdo a ciertos criterios o pautas de acción para lograr resultados de acuerdo a lo establecido. Esta evaluación nos permitirá conocer lo bien o aceptable que haya sido el desempeño de un organismo público y en consecuencia se podrán tomar acciones necesarias para perfeccionar la gestión. Por lo tanto, una RDC sobre el desempeño institucional permitirá conocer, qué tan eficientes se utilizaron los recursos, la capacidad institucional instalada, el grado de cumplimiento de los objetivos planteados y lo más importante saber la medida en la que las instituciones están cumpliendo con sus objetivos planteados. Finalmente esto se resume en la evaluación de la efectividad, eficiencia y eficacia a través de los resultados obtenidos.

Tabla 3. Análisis del marco político institucional de CIMARES y los ODS 14.

	Marco político				
	Gabinete especializado México en Paz	Gabinete especializado México Incluyente	Gabinete especializado México con Educación de Calidad	Gabinete especializado México Próspero	Gabinete especializado México con Responsabilidad Global
CIMARES					
SEGOB	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
SEMARNAT		⊙	⊙	⊙	⊙
SEDESOL		⊙	⊙	⊙	
SEDATU					
SE				⊙	⊙
SENER				⊙	⊙
SER	⊙	⊙	⊙		
SAGARPA		⊙	⊙	⊙	⊙
SCT		⊙	⊙	⊙	⊙
SECTUR					⊙
SEMAR	⊙				
ODS 14, Marco político					
CENAPRED					
CONABIO					
CONAFOR					
CONANP					
INECC					
NEGI					
PEMEX				⊙	
PROFEPA					
SALUD-COFEPRIS			⊙	⊙	⊙
SEP		⊙	⊙	⊙	⊙
SHCP	⊙	⊙		⊙	

Elaboración propia con datos obtenidos de los programas sectoriales, el PND 2013-2018, los ODS con la Agenda 2030 y el PECC 2013-2018, de las instituciones que conforman CIMARES y aquellas que tienen participación para el cumplimiento del ODS14.

Definición y realización de los indicadores de desempeño

Los indicadores son herramientas de gestión que proveen un valor de referencia a partir del cual se puede establecer una comparación entre las metas planeadas y el desempeño logrado (CEPAL, 2007). Los indicadores de desempeño son medidas que describen cuán bien se están desarrollando los objetivos de una institución, el costo que implica su implementación y con qué nivel de calidad se dan.

La utilidad que tiene un sistema de cuenta pública orientada a resultados, es que los directores de las diferentes instituciones requieren de estudios que brinden información estratégica sobre la gestión de la institución, así como sobre las actividades, los productos y resultados finales (CEPAL, 2007). El incorporar indicadores y metas de desempeño a la planeación institucional, ayuda a conocer los niveles de cumplimiento de los diferentes objetivos planteados y resultados esperados de cada división en lo particular y de toda la institución en lo general.

Los indicadores deben permitir monitorear el logro de los objetivos a los que se encuentran asociados. Sin embargo, es posible medir diferentes dimensiones del desempeño para un mismo objetivo. La dimensión del indicador se define como el aspecto del logro del objetivo a cuantificar, esto es, la perspectiva con que se valora cada objetivo (CEPAL 2007). Se consideran cuatro dimensiones generales para los indicadores: eficacia, eficiencia, calidad y economía (CONEVAL, 2013).

En la figura 1, se pueden observar las diferentes dimensiones de logro y como se cuantifican en cada nivel de desempeño, así

como su relación con el ámbito de éste. Para esta propuesta se establecieron una serie de indicadores que permitan a la CIMARES evaluar la eficacia, la eficiencia y la efectividad de su trabajo como estructura organizativa dentro en la administración pública federal, con relación al cumplimiento de su objetivo y para el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de cambio climático para océanos y costas, así como para el cumplimiento de los objetivo de Oesarrollo Sustentable

Para evaluar la eficiencia, y aun cuando no es posible establecer una relación automática entre resultados obtenidos y la asignación de presupuesto, el contar con indicadores de desempeño establece mayores niveles de transparencia respecto del uso de los recursos públicos y sienta las bases para un mayor compromiso con los resultados por parte de los directivos y los niveles medios de la dirección (CEPAL, 2006).

La evaluación con indicadores permite obtener información válida, confiable y actualizada para la toma de decisiones. Con esta información se puede verificar el avance o grado de cumplimiento que la administración pública tiene, así como la ejecución de programas y acciones. El proceso de evaluación con indicadores de desempeño es muy importante ya que permite la mejora continua, a través del análisis, acciones correctivas y/o preventivas y la retroalimentación en el proceso de planeación. Los indicadores de desempeño permiten la detección de fortalezas y debilidades de la gestión pública y las posibles soluciones para un mayor cumplimiento de los objetivos (OECD, 2002)



Figura 1. Dimensión sugerida de los indicadores. Fuente: CONEVAL 2013.

Indicadores de desempeño: eficacia, eficiencia y efectividad para la zona costero-marina

Indicador de Eficacia

Los indicadores de eficacia miden el grado del cumplimiento del objetivo establecido, es decir, dan evidencia sobre el grado en que se están alcanzando los objetivos descritos. El grado de cumplimiento de los objetivos, es decir en qué medida la institución está cumpliendo con sus objetivos principales en este caso para el cambio climático (cc) en materia de océanos y costas (O y C) (tabla 4).

Indicador de Eficiencia

Los indicadores de eficiencia miden la relación entre el logro del programa y los recursos utilizados para su cumplimen-

to (ILPES/CEPAL, 2010). Estos indicadores cuantifican el costo de alcanzar el objetivo planteado, sin limitarlo a recursos económicos; también abarca los recursos humanos y materiales que el programa emplea para cumplir el objetivo específico (tabla 5).

Indicador de Efectividad.

Los indicadores de efectividad involucran la eficiencia y la eficacia, es decir, el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles que deben ser alcanzados de la forma más adecuada (ILPES/CEPAL, 2010) (tabla 6).

Tabla 4. Indicadores de Eficacia.

Indicadores de Eficacia	
Objetivo 1.	Mejoría en la salud ecosistémica a través de la Intervención de las instituciones competentes de CIMARES referente a CC en materia de O y C.
Indicador:	Gestiones e intervenciones de las instituciones dentro de CIMARES, fueron implementadas de manera eficaz.
Objetivo 2.	Una implementación adecuada de los procesos de planificación por las secretarías, en el diseño de las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en la zona costera.
Indicador:	Disminución de la vulnerabilidad costera partir de la implementación y seguimiento de los programas y acciones establecidos por CIMARES en coordinación con las secretarías involucradas en el CC en O y C.
Objetivo 3.	Capacidad calificada de servidores públicos para implementar las acciones y estrategias de CC, en la zona costera.
Indicador:	El número de servidores públicos que laboran en cada institución dedicados específicamente a mares y costas son eficaces, para cumplir sus tareas asignadas.
Objetivo 4.	Apertura de oportunidades económicas y uso sostenible de los ecosistemas a través de la recuperación de recursos naturales costeros y marinos.
Indicador:	Se generó competitividad y acciones de protección en las zonas costeras.
Objetivo 5.	Tener el número suficiente de servidores públicos para atender las islas y los municipios costeros con capacidades óptimas para desarrollar sus tareas impuestas.
Indicador:	La Cobertura del capital humano para costas y mares, y No. De servidores públicos por kilómetro de costas (11,200 kilómetros) fueron suficientes para atender las zonas costeras
Objetivo 6.	Vinculación real y probada con universidades para mejorar las condiciones costero-marinas en CC, con un grado de coordinación e integración de agendas entre secretarías y CIMARES para el cumplimiento de las estrategias.
Indicador	Número de estrategias en materia de adaptación y mitigación al cambio climático para zona marina, considerando los distintos programas sectoriales de cada Secretaría y bajo la coordinación de la CIMARES en el cumplimiento de las acciones y metas establecidas por dicha comisión.
Objetivo 7	A través de la capacidad institucional se deben cumplir los compromisos de México con respecto al ODS14.
Indicador	La capacidad institucional es garante para el cumplimiento eficaz del ODS14. Una mejor planificación territorial costera y marina y la disminución del Riesgo y vulnerabilidad costera.

Lecciones aprendidas

A partir de la importancia social, económica y ambiental que tienen los ecosistemas costeros y los océanos para México, la integración del conocimiento y la evaluación de la capacidad institucional, permite identificar a nivel nacional e internacional, los aspectos institucionales, científicos, tecnológicos, legales y políticos, que atienden

la planeación y gestión integrada de la zona costera, así como evaluar el grado de cumplimiento de los compromisos en materia de océanos y costas en cambio climático.

Las lecciones aprendidas resaltan, la importancia de las evaluaciones, su incidencia dentro de la toma decisiones y su contribución en la mejora de las políticas públicas.

Tabla 5. Indicadores de Eficiencia.

Indicadores de Eficiencia	
Objetivo 1	Grado de congruencia entre los objetivos y metas de las estrategias, están alineación al PND con respecto a las estrategias aplicada por CIMARES.
Indicador	Implementación del PND y las Estrategias Nacionales en materia de Océanos y Costas fueron eficientes para el cumplimiento de las metas y estrategias.
Objetivo 2	La distribución de los recursos económicos debe ser ponderado y ecuánime para el cumplimiento de planes y programas, para acciones de mitigación y adaptación. Como resultado de una ruta de coordinación interinstitucional.
Indicador	Nivel de coordinación entre secretarías de gobierno y sociedad para optimizar recursos.
Objetivo 3.	Grado de coordinación e integración institucional para la aplicación de programas y estrategias.
Indicador	Número de acuerdos establecidos entre dos o más instituciones durante las reuniones de coordinación de la CIMARES para el cumplimiento de programas o estrategias. Número de acuerdos cumplidos a través de la colaboración de dos o más instituciones para el cumplimiento de programas y estrategias en materia de CC para de O y C.
Objetivo 4	Cumplimiento Administrativo a través de la coordinación y seguimiento de los diferentes sectores para atender ODS14
Indicador	Grado de comunicación, coordinación y seguimiento de decisiones a nivel institucional.
Objetivo 5.	Implementación del POA sectorial respecto a las necesidades de CIMARES para el cumplimiento de las estrategias y metas establecidas.
Indicador	Los POA sectoriales están alineados con respecto a las necesidades de CIMARES y sus objetivos específicos.
Objetivo 6.	Las medidas de mitigación y adaptación son eficientes respecto a los costos y beneficiarios.
Indicador	Número de beneficiarios por programa y acción y por región marina y costera.

Las evaluaciones son indispensables para las dependencias responsables, que contribuyen a la planeación y gestión costera marina. Para el caso específico en México son aquellas instituciones que conforman la estructura ejecutiva de CIMARES y que tiene como función principal la coordinación de las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la planeación, ordenación y desarrollo sustentable de los mares y las costas del territorio nacional (SEMAR, 2018). Para éstas se confirmó que la utilidad de las evaluaciones es indispensable para obtener una amplia difusión de los resultados. De la misma manera la

evaluación permite apuntalar un mayor fortalecimiento que permita saber si se está orientando el gasto público a la atención del problema o necesidad y si las acciones implementadas están alcanzando los objetivos planteados.

Por otra parte, cabe resaltar que para evaluar el desempeño institucional, se debe contar con un análisis y descripción del avance nacional de los compromisos adquiridos para océanos y costas. Para este caso, se analizó la PNMCM, el PECC, la PNCC y el PND (2013-2018), que constituyen el marco referencial de la situación político-institucional de México para el caso de los mares y costas de México. Esto permite que exista una coherencia entre la efectividad y

Tabla 6. Indicadores de Efectividad.

Indicadores de Efectividad	
Objetivo 1.	Comunicación entre CIMARES y las secretarías dentro de su estructura orgánica, así como la intervención dentro de las instituciones.
Indicador	Grado de comunicación, coordinación y seguimiento de decisiones.
Objetivo 2.	Cumplimiento administrativo de coordinación e integración de agendas transectoriales de las instituciones en la implementación de acciones de mitigación y adaptación
Indicador	Eficiencia en la gestión de parte entre instituciones para el cumplimiento de las metas dentro de ODS 14 Vida submarina.
Objetivo 3.	Aplicación del marco regulatorio en las estrategias con respecto al ordenamiento ecológico.
Indicador	Cumplimiento de la ley orgánica y de las leyes federales apartado específico CC en O y C.
Objetivo 4.	4.Utilización de conocimientos científicos para toma de decisiones en CC y O C. Existe una vinculación real y probada con universidades para mejorar las condiciones costero-marinas en CC.
Indicador	Decisiones basadas en el mejor conocimiento de ciencia y tecnología.
Objetivo 5.	Cobertura y focalización para atender las necesidades de las regiones costero-marinas.
Indicador	Nivel de Efectividad en los objetivos y metas de las estrategias, aplicadas en regiones costero-Marinas.

la calidad de las políticas relacionadas con el cambio climático y los océanos y costas en el país.

Igualmente se ha observado que se identifican retos estratégicos que demandan, por un lado, la exigencia de sensibilizar a las instancias gubernamentales de los diferentes sectores y niveles de gobierno para que desarrollen intervenciones más directas sobre la planeación y gestión costera, así como el reforzamiento de las instancias que tienen carácter permanente a través de su contribución y de las acciones que están basadas en la implementación de las estrategias de la PNMCM, contribuyendo al logro de los objetivos de adaptación y mitigación al cambio climático.

De la misma manera México ha colocado la transversalidad de la sustentabilidad costera en los sectores que conforman la CIMARES, pero se espera que el resto de los sectores colaboren para alcanzar los objetivos de sustentabilidad mediante los progra-

mas sectoriales. Sin embargo, es evidente la ausencia de temas de océanos y costas en los programas sectoriales; además, es importante mencionar la disminución de los presupuestos para cada sector. Esto ha impactado las posibilidades para atender las necesidades de la zona costero-marina, pues se prefiere utilizar los recursos en proyectos propios de cada sector y no los acordados en las reuniones de la CIMARES.

De lo anterior podemos señalar que, las mejoras institucionales implementadas para océanos y costas deben ser congruentes con las condiciones y medios de operación de cada una de los sectores para llevar a cabo las acciones de mitigación y adaptación en materia de cambio climático. Reforzar las sinergias construidas a partir de la CIMARES y contribuir a un desempeño inter-institucional coordinado que estimule y de seguimiento a los objetivos establecidos en la PNMCM, el PECC y el PND, que contribuyen a la sustentabilidad de los mares y costas; y

que estén fundamentados en marcos legales coherentes, que incluyan responsabilidades, deberes y obligaciones de las institu-

ciones involucradas en el manejo interado de los mares y las costas del territorio nacional.

Conclusiones

La evaluación del desempeño institucional permitió conocer el grado en el cual una intervención pública opera de acuerdo con ciertos criterios o pautas de acción para lograr resultados de acuerdo con lo establecido. De la misma manera, la RDC permite conocer lo bien o aceptable que haya sido el desempeño de un organismo público y en consecuencia se pueden tomar acciones necesarias para perfeccionar la gestión.

Para el cumplimiento de los objetivos y metas establecidas para hacer frente al CC, México ha implementado diferentes ordenamientos legales, programas, estrategias y comisiones, que rigen las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático. A través de la LGEEPA, la LGCC, la PNMCM, estos tres instrumentos han servido como marco normativo y de planeación, mediante una coordinación transversal e intersectorial a través de la CIMARES.

Por otra parte, las medidas de mitigación y adaptación institucionales son aplicadas, pero carecen de un resultado eficiente y se encuentran vacíos en la administración, afectando la solicitud de gestión de asuntos costeros y marinos. Igualmente, se observó que uno de los principales problemas se refleja dentro de la coordinación administrativa que carece de eficiencia y que no es capaz de dar seguimiento y realizar la evaluación de programas políticos. El subsanar la administración incluyendo aspectos de efectividad, eficacia y eficiencia, permitirán obtener resultados óptimos que en un fu-

turo logren cumplir con las metas establecidas para las cuales fueron implementadas.

México tiene una gran oportunidad de hacer énfasis en la implementación, el desarrollo y la evaluación de las políticas públicas costero-marinos. Debe buscarse la congruencia entre las metas de los programas y los recursos utilizados, así como también en el cumplimiento y el logro de los resultados programados en tiempo y forma. Toda propuesta de mejora dentro del marco de coordinación y colaboración institucional debe estar orientada a disminuir las debilidades, reforzar y mantener las fortalezas y perpetuar una búsqueda continua de oportunidades, para generar el desempeño institucional óptimo y disminuir las amenazas externas.

La transversalidad es factor importante dentro del marco de la política ambiental, pero el fortalecimiento de la coordinación vertical entre los tres órdenes de gobierno, federal, estatal y municipal, puede mejorar los esfuerzos, para el desarrollo de programas de planeación y gestión en zona marina, que involucren a los diferentes niveles de gobierno y así hacer frente a los retos generados por el cambio climático.

México ha presentado avances importantes en materia de CC y ha demostrado un importante liderazgo a nivel internacional. Sin embargo, para crear una estructura administrativa firme, se requieren esfuerzos adicionales, para mejorar la efectividad y la eficiencia de la política ambiental, mientras

que para el caso de océanos y costas, se deben ampliar las iniciativas, reforzar la integración de los factores políticos, jurídicos, económicos, sociales y sectoriales, así como promover una transición, hacia el desarrollo sostenible de los océanos y costas de una manera más efectiva, eficiente y eficaz.

Para obtener resultados óptimos, se debe contar con una mayor colaboración entre la CIMARES y la CICC, con el fin de hacer operativos objetivos internacionales como el ODS 14, fomentando una participación más activa de estados y municipios costeros a través de mecanismos que faciliten dicha

labor y al mismo tiempo mejoren la difusión de la información de manera clara y veraz. Asimismo, se deberá contar con recursos económicos, administrativos y humanos suficientes para atender de manera adecuada los 11 200 kilómetros de costas y la zona económica exclusiva marina de México. Además, verificar a través de los resultados de la efectividad la eficiencia y eficacia si se ha cumplido con los objetivos de desarrollo sostenible, en particular el ODS 14 para atender los efectos de cambio climático y transitar a un desarrollo sustentable de los océanos y costas.

Literatura citada

- CEPAL/ILPES, 2007. Planificación Estratégica e Indicadores de Desempeño en el Sector Público. Enero, 2018, de CEPAL/ILPES Sitio web: https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/5/39255/30_04_MANUAL_COMPLETO_de_Abril.pdf
- CONEVAL, 2013. Manual para el diseño y la construcción de indicadores Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México. Enero, 2018, de CONEVAL Sitio web: https://www.coneval.org.mx/Informes/Coordinacion/Publicaciones%20oficiales/MANUAL_PARA_EL_DISENO_Y_CONSTRUCCION_DE_INDICADORES.pdf
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 200. “Acuerdo por el que se crea con carácter permanente la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas”, Diario Oficial de la Federación, 13 de junio de 2008.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2015. Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental. 4 de mayo 2015. Recuperado el 11 de enero del 2019, de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/244.pdf>
- OECD. (2002). Glosario de los Principales Términos sobre Evaluación y Gestión Basada en Resultados. Enero, 2018, de OECD Sitio web: <https://www.oecd.org/dac/evaluation/2754804.pdf>
- García-Chavarría, M, 2019. Determinación de la capacidad institucional de México para cumplir los compromisos internacionales de cambio climático en materia de océanos y costas. Tesis de Maestría, Fac. Ciencias Químico-Biológicas, Instituto EPOMEX-UACAM. 198 p.
- H. Cámara de Diputados, 2008. Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. mayo, 2018, de Diario Oficial de la Federación Sitio web: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5410506&fecha=05/10/2015
- López, S., 2007. Transparencia Gubernamental. Septiembre, 2018, de Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Sitio web: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/9/4319/19.pdf>
- López Ayllón, S., y A. Haddou Ruiz, 2007. Rendición de cuentas y diseño institucional de los órganos reguladores en México. *Gestión y Política Pública*, XVI (1): 101-145. Recuperado el 10 de enero del 2019, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13316104>
- López, S., y M. Merino, 2009. La rendición de cuentas en México: perspectivas y retos. enero 01, 2019, de Secretaría de la Función Pública Sitio web: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2800/4.pdf>

- Olivera, D., 2011. La rendición de cuentas en la gestión pública de México. Accesado en enero 10, 2019. Universidad Veracruzana Sitio web: <https://www.uv.mx/iiesca/files/2012/11/004Rendicion2011-1.pdf>
- Olsen S., K. Lowry, y J. Tobey, 1999. Una Guía Para Evaluar el Progreso en el Manejo Costero. University of Rhode Island. Narragansett.
- Post, Jan C. y C.G. Lundin (eds.), 1996. Guidelines for Integrated Coastal Zone Management (English). Environmentally sustainable development studies and monographs series; no. 9*ESSD Environmentally & Socially Sustainable Development Work in Progress. Washington, D.C. : The World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/754341468767367444/Guidelines-for-Integrated-Coastal-Zone-Management>
- Ramírez Aceves, M., y J. A. Hernández Cardona, 2014. El sistema de rendición de cuentas mexicano y su interacción con la Archivística. Información, cultura y sociedad, (30), 79-104. Recuperado en 21 de enero de 2019, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185117402014000100005&lng=es&tlng=es.
- Ugalde, C., 2002. Rendición de Cuentas y Democracia. El caso de México. Enero, 2019, de Archivos jurídicas UNAM Sitio web: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/8/3555/17.pdf>
- UNESCO, 2003. A Reference Guide on the Use of Indicators for Integrated Coastal Management. UNESCO. France.
- UNESCO, 2006. A handbook for Measuring the Progress and Outcomes of Integrated Coastal and Ocean Management. UNESCO.
- Uvalle Berrones, R., (2016). Fundamentos políticos de la rendición de cuentas en México. *Estudios políticos*, (38): 37-55. Recuperado el 24 de enero de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16162016000200037&lng=es&tlng=es
- Vargas, G., G. Carrillo, E. Roque, C. Escalona, R. Hernández, y R. Magaña, 2014. La evaluación de las capacidades institucionales ambientales de los Estados y descentralización de la Función Pública en México. México, D.F: Hess.
- World Bank, 1996. Guidelines for Integrated Coastal Zone Management. The World Bank. Washington

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Formación educativa para los gestores en la solución de problemas en las áreas costeras de México.

Entre la formación en
programas de licenciatura
y los programas de
posgrado o especialidad

*L. Vidal-Hernández, P. Guadarrama, M. C. Arredondo-García,
I. Espejel, E. Rivera-Arriaga y M. Mascaró*

Resumen

Las complejas problemáticas que actualmente enfrentan las áreas costeras de México rebasan las capacidades de planeación y operación de los tomadores de decisiones y gestores tradicionales de sus recursos naturales y humanos. Con la conjunción de diferentes estados de uso y deterioro de tales recursos naturales y las demandas de variados actores que confluyen en la costa, es imperante incorporar profesionistas con crecientes conocimientos multi, inter y transdisciplinarios actualizados y con habilidades profesionales y personales que sumen capacidades de gobierno junto con las sociedades. Este manuscrito describe tres programas de estudios universitarios de pregrado, especialidad y posgrado en México para la comprensión y la gestión responsable de los sistemas socio-ecológicos costeros desde una visión multi e interdisciplinaria. Se analizan las principales ventajas de la formación de estos profesionistas y se discuten sus más evidentes retos. Asimismo, se comenta sobre las necesidades de la retroalimentación de los actuales gestores de la costa a las instituciones de enseñanza para actualizar sus perfiles con esquemas más creativos y novedosos que enriquezcan la formación de su curricula.

Palabras clave: multidisciplinaria, interdisciplinaria, transdisciplinaria, manejo integrado costero, gestión costera, recursos humanos, educación.

México en el contexto del manejo costero

México tiene la responsabilidad de aprovechar racionalmente y resguardar la riqueza de su patrimonio natural y humano de sus áreas costero-marinas por seis razones principalmente:

- Es una nación con orientación social y ecológica costero-marina. Cuenta con una línea de costa de 11 122 km (sin contar sus islas) que colinda con 17 entidades estatales y 150 municipios costeros con 416 465 km² (21 % de la superficie nacional) y posee influencia costera alta y media en otros 113 municipios. Su territorio cubierto por mar equivale al 62 % del área de soberanía nacional (3 149 920 km²) y su índice de litoralidad es de 2.23 (valor medio según Barragán, 2012).
- Los estados con litoral contienen casi la mitad de la población del país (46 %), con un incremento de 39 % en los últimos 20 años. Hay 266 municipios con influencia costera, mismos que cuentan con 139 ciudades de más de 15 000 habitantes y 44 163 localidades rurales, de las cuales el 80% tienen menos de 100 habitantes (Seingier *et al.*, 2018)
- Las costas sostienen dos de las tres actividades productivas con mayor contribución al PIB anual de la Nación (extracción petrolera y turismo).
- Se considera que actualmente uno de cada cuatro mexicanos cubre sus necesidades básicas con productos de las costas (León, 2004), y México es uno de los 20 países con más pesca en el

mundo (por ejemplo, en 2014 exportó 1 129 millones de dólares en productos pesqueros y acuícolas).

- Al firmar numerosos tratados internacionales (*e.g.* la Ley del Mar, la Convención de Londres, la Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro y la Cumbre de Johannesburgo), la Nación adquirió el compromiso de investigar y planear integralmente el aprovechamiento de sus recursos naturales costero-marinos; fortalecer las instituciones gubernamentales, académicas y sociales dedicadas a su gobierno; y adecuar o diseñar herramientas o estrategias para su protección y manejo, y para el desarrollo económico y social de las áreas costeras, islas y océanos (Rivera-Arriaga y Azuz-Adeath, 2004). En consecuencia, se han decretado 37 áreas marinas y costeras protegidas con un total de 649 587 km², lo que significa que el 92 % de las islas mexicanas y un 22.3 % de los mares están protegidos (<https://www.gob.mx/conanp/prensa/mexico-es-lider-mundial-en-la-proteccion-de-areas-marinas>).
- El territorio marino y costero del país posee un amplio potencial de aprovechamiento aún no explorado.

De lo anterior, se desprende que México requiere desarrollar y mejorar las capacidades de gestión ambiental de sus áreas costero-marinas, tanto en el presente como para el futuro, y que aunque la comunidad científica y algunas autoridades han realizado enormes esfuerzos en este sentido, resulta evidente la necesidad de contar con profesionistas capaces de lograr una gestión integrada de estas áreas. Así, la formación de especialistas en manejo de ecosistemas y recursos costeros debe ser una prioridad educativa en nuestro país. Asimismo, es ur-

gente que los tomadores de decisiones de los diferentes niveles de gobierno se actualicen en temas de gestión y manejo costero, a través de diplomados, talleres y cursos, con miras a ampliar su visión sobre la problemática costera y contribuir al desarrollo sustentable de los sistemas socio-ecológicos (sistemas complejos acoplados en los que interactúan componentes culturales, políticos, sociales, ecológicos y tecnológicos (Ostrom, 2009)). Esto es, el desarrollo costero en México deberá ser capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Mientras que esto constituye la vía para cumplir con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2030, especialmente el ODS 14, relativo a vida submarina (<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>), lo cierto es que el manejo costero se torna aún más urgente ante los escenarios de cambio climático global.

Una sociedad tiene capacidades de gestión ambiental cuando responde a los retos ambientales de su entorno a través de sus instituciones de gobierno, programas y prácticas para la protección de la calidad del ambiente (Gilbreath, 2003). La gestión ambiental es un proceso de mayor escala que el manejo, porque incluye etapas, procesos, tiempos y decisiones para mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales negativos y potenciar aquellos positivos generados por las obras humanas en el medio ambiente. Esto implica elaborar instrumentos legales, políticas públicas, instituciones y mecanismos de participación social que permitan tomar decisiones que deriven en una mejor calidad de vida a través del uso de los recursos y sistemas naturales, manteniendo su integridad y ca-

pacidad de renovación para las generaciones futuras (Salas-Zapata *et al.*, 2011). Esta idea se asocia al concepto de sustentabilidad, que es el principio rector de la gestión ambiental. Por su parte, el manejo costero ha sido definido como un proceso dinámico que incorpora el desarrollo y la implementación de estrategias coordinadas para asignar recursos y lograr la conservación del ambiente (French, 1997). Al aplicarse en sitios puntuales con la participación de los usuarios, habitantes de la costa, se le conoce como co-manejo (<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/comanagement>).

En México existen esfuerzos gubernamentales, académicos y sociales para construir capacidades de gestión en áreas costeras, pero son muchas las fuerzas asociadas al paradigma de desarrollo social vigente que se relacionan con su impacto y deterioro (Nava *et al.*, 2017). Entre tales fuerzas, destacan la creciente urbanización en municipios costeros; el uso del suelo en tierras bajas y altas cercanas a las costas; el uso y abuso del agua continental; la extracción intensiva de recursos pesqueros, mineros e hidrocarburos; la deficiente disposición de residuos y aguas residuales; y el desarrollo portuario para uso comercial y de turístico náutico. Es decir, existe una amplia gama de retos derivados de los actuales patrones de uso costero que es necesario abordar desde diferentes enfoques de manera multidisciplinaria e integrada (biológico, físicoquímico, social, económico, cultural, legal). Se requiere de equipos de profesionistas diversos y comunidades de aprendizaje que desde la transdisciplina trabajen con distintos saberes. Además, es imprescindible problematizar la costa desde diferentes niveles de gobierno y con la participación de los múltiples usuarios de la misma.

Existen inercias institucionales que han obstaculizado la incorporación de nuevas y más integrales concepciones ecológicas a los marcos teóricos y legales que dan pie a las políticas públicas ambientales y sectoriales. Challenger *et al.* (2014) analizaron y señalaron los alcances, poco alentadores, que tuvo el enfoque de sistemas socio-ecológicos en las políticas públicas del país. Cuatro años después, los mismos autores (Challenger *et al.* 2018), analizaron la percepción de funcionarios públicos con experiencia en el área ambiental sobre la incorporación del enfoque de gestión de sistemas socio-ecológicos en las políticas públicas. Sus resultados mostraron que, si bien las ventajas del cambio de enfoque son percibidas, todavía se considera necesario profesionalizar al personal y mejorar los instrumentos de gestión para poder tomar en cuenta a todos los actores y elementos que conforman los sistemas socio-ecológicos.

Es claro que existe una importante diversidad de expertise o pericia a nivel individual entre los gestores y manejadores de los recursos en las costas; pero es necesario formar equipos cuya experiencia, información, teorías y metodologías amalgamen una visión compartida y contextualizada de las problemáticas costeras y ofrezcan posibles explicaciones y eviten soluciones fragmentadas o parciales. Hacen falta profesionistas que entiendan y sean capaces de transmitir conocimientos científicos a público no científico; que identifiquen la ausencia de información y sepan cómo y dónde solventarla; que puedan proveer de instrumentos para la valoración completa de los sistemas socio-ecológicos (sus bienes y servicios); que incorporen conocimiento sobre las actitudes, creencias y percepciones de los múltiples usuarios de las costas; que entiendan en qué consisten las limitaciones

legales y administrativas que impiden la coordinación de la actuación de autoridades en diferentes niveles de gobierno. Asimismo, es sustancial que conceptualicen el cambio como el elemento básico de los sistemas costeros e incorporen en su cotidianidad conceptos de manejo adaptativo y teoría del cambio como menciona Arora *et al.* (2019). Si bien, estas habilidades profesionales pueden aplicarse para el manejo de un recurso natural, un ecosistema o una zona costera, los retos actuales del manejo en las zonas costeras obligan a concebirlo desde una visión integrada y compleja que contiene varios elementos, flujos e interrelaciones.

En la década de los noventa, Cicin-Sain y Knecht (1998) definieron el Manejo Integrado de la Zona Costera (MIZC) *como un proceso dinámico en el cual se desarrolla e implementa una estrategia coordinada para asignar recursos ambientales, socio-culturales e institucionales, con el fin de alcanzar la conservación y el uso múltiple sostenido de la zona costera*. Sus atributos básicos son integrar: perspectivas sistémicas, límites geográficos que incluyan una parte de tierra y otra de mar, visión a largo plazo, arreglos intergubernamentales y de estrategias de manejo, conocimiento multidisciplinario y, si el caso lo requiere, acuerdos internacionales. Así, el manejo integrado costero podrá ser implementado sólo cuando se forme capital humano en ese campo del conocimiento.

Chircop (2000) coincide con lo anterior, señalando que uno de los principales retos del MIZC se encuentra en formar capital humano que, además de identificar necesidades de conocimiento científico y tecnológico requerido para entender los procesos de los sistemas socio-ecológicos en las costas, incorpore multi-enfoques y teorías mul-

ti-disciplinarias con una visión integrada y contextualizada para atender problemáticas particulares, además de mediar entre los científicos, la sociedad y los tomadores de decisiones en la costa. Al describir la historia de los programas de MIZC como iniciativas surgidas desde las instituciones de educación superior, el autor distingue claramente entre los programas en ciencias ambientales de los años 70s y 80s dirigidos al estudio integral de las costas, de aquellos que comenzaron a operar en los años 90s, y que se enfocaban en los aspectos sobre su manejo. Dicha distinción corresponde con necesidades formativas diferentes en los programas educativos de unas y otras décadas, pues éstas claramente definieron el quehacer de los egresados como profesionistas enfrentados a los retos de sus respectivos momentos. Hoy en día, esta profesión no puede concebirse sin el componente de manejo como elemento de intervención.

El perfil deseado de un profesionista en MIZC incluye: a) conocimientos que le permitirán comprender las problemáticas en la costa desde los enfoques de sistemas socio-ecológicos y sistemas complejos, b) habilidades que le permitan dialogar y negociar con los usuarios y gobernantes para decidir y actuar colectivamente sobre las zonas y los recursos costeros, c) dominio de herramientas de planeación, regulación, manejo de datos, manejo de personal, elaboración de proyectos y de comunicación para planear, operar y evaluar programas de manejo, d) habilidades para promover el desarrollo de disciplinas novedosas con temáticas mixtas (*e.g.* bio-economía, eco-hidrología, antropología ecológica) y creatividad para el trabajo y aprendizaje colaborativo en proyectos de investigación (Cicin-Sain y Knecht, 1998; Ander-Egg, 1999; Chircop, 2000; Euán-Ávila *et al.*,

2004; Berkes, 2017). Siendo las áreas de actuación del profesionalista en MIZC tan variadas (figura 1), el reto para la formación de recursos humanos no es menor y debe enseñarse/aprenderse con teoría, pero sobre todo, a partir de la revisión y puesta en práctica en escenarios de casos reales. En este sentido, la enseñanza por proyectos es clave para una formación exitosa de recursos humanos en este campo.

En este contexto, algunas de las preguntas que surgen ante la elaboración, evaluación y actualización de los planes de estudio que incorporan la formación de profesionistas en MIZC son:

- ¿El plan de estudios responde a los objetivos del manejo costero?
- ¿Se les enseña a los estudiantes a trabajar en equipos multi, inter y transdisciplinarios?
- ¿El profesorado está preparado en temas actuales, como por ejemplo, sistemas socio-ecológicos, transdisciplina, etc.?
- ¿El profesorado está capacitado para brindar a los estudiantes la visión y herramientas requeridas para el MIZC?
- ¿Será más pertinente formar estudiantes desde sus años de temprana juventud (en licenciatura) o más adelante en el proceso de formación académica (en



Figura 1. Áreas de actuación del manejador de zonas costeras (Fuente, elaboración propia).

posgrado o especialidad), cuando cuentan éstos con mayor madurez y alguna experiencia profesional que les permita identificar esta necesidad?

- ¿Desde el punto de vista formativo, es ventajoso ofrecer estos programas de estudios en las propias zonas costeras o es suficiente con llevarlos a hacer prácticas de campo a las mismas?

La enseñanza del manejo integrado de la zona costera en México

La enseñanza es un proceso de desarrollo socio-cultural que incorpora los valores, costumbres y percepciones de una sociedad para generar capacidades humanas, financieras y materiales para enfrentar sus retos a través de incidir en sus comportamientos y acciones. En México existen 63 universidades públicas (7 federales, 34 estatales y 22 estatales con apoyo solidario) que atienden al 52 % de estudiantes de licenciatura y al 48 % de posgrado (ANUIES, 2018). A nivel licenciatura existen cinco programas de Biología Marina cuyo objetivo es formar profesionistas enfocados en el conocimiento del ambiente marino, y su perfil incluye el manejo y conservación de ecosistemas marinos y costeros (Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur; Universidad Autónoma de Yucatán; Universidad del Mar, Puerto Escondido Oaxaca; Universidad Veracruzana, Poza Rica-Tuxpan; Universidad Autónoma de Baja California Sur). Por su parte, la Universidad de Chiapas oferta la carrera de Ingeniería en sistemas costeros que, dentro de sus objetivos incluye diagnosticar, identificar y solucionar problemas que afectan a los sistemas costeros y marinos, desarrollando y aplicando metodologías para la evaluación y el aprovechamiento de su producción y productividad.

Mientras que las carreras que implícitamente en su título, así como en su perfil de egreso y objetivos incluyen el enfoque de MIZC, hay dos sobre el rubro de Gestión: 1) Gestión de Zona Costera, Universidad Autónoma de Sinaloa, sede Mazatlán y 2) Gestión de Recursos Marinos y Portuarios de la Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Marinas), y hay dos sobre el Manejo de recursos: 1) Manejo de Recursos Naturales de la Universidad de Quintana Roo con una línea de especialización de Manejo Integrado en sus campus Cozumel y Chetumal y 2) Manejo Sustentable de Zonas Costeras que entre los años 2002 a 2018 fue impartida por la Facultad de Ciencias, en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal Yucatán de la Universidad Nacional Autónoma de México y a partir de 2018 está en corresponsabilidad con la Escuela de Estudios Superiores Unidad Mérida, donde actualmente se imparte.

En el nivel de estudios de posgrado se cuenta con una Especialidad en Gestión Ambiental, con una línea terminal de Manejo de Recursos Naturales que es impartida por la Universidad Autónoma de Baja California. Su objetivo general incluye prevenir y proponer posibles soluciones relacionadas a la gestión que coadyuven a la

conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, a través de la aplicación de los instrumentos preventivos y correctivos de la gestión ambiental. Hay dos Maestrías en Ciencias en 1) Ecología Marina, con la línea terminal de Manejo de Recursos y Desarrollo Sustentable de la Universidad del Mar, Oaxaca; y en 2) Recursos Acuáticos, con la línea terminal de Manejo de Zona Costera en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Asimismo, se imparte la Maestría Multi-disciplinaria para el Manejo de Zona Costero-Marina en la Universidad Autónoma de Campeche, Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, cuyo objetivo es formar profesionistas con conocimientos sólidos sobre los aspectos multidisciplinarios del manejo de la zona costero-marina.

En lo referente a estudios de Maestría y Doctorado, el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México ofrece la Maestría y Doctorado en Ciencias, mientras que la Universidad Autónoma de Baja California cuenta con Maestría y Doctorado en Oceanografía Costera. En estos programas, el perfil de egreso incluye aspectos de conservación, uso y manejo de los recursos acuáticos de la zona costera, como elementos importantes a fomentar en la visión de los egresados.

Por su parte, las instituciones que ofrecen estudios de Doctorado enfocados en el manejo de recursos marinos y/o costeros son cuatro: 1) Universidad de Quintana Roo, Doctorado en Desarrollo Sostenible, con la línea terminal de Manejo de Recursos Naturales Costeros e Insulares, 2) Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Re-

ursos Naturales y Agrícolas, con la línea terminal de investigaciones costeras y 3) Universidad del Mar, Oaxaca, Doctorado en Ecología Marina, con la línea terminal de Dinámica de Poblaciones y Manejo de Recursos Marinos, y 4) Universidad de Baja California Sur, Maestría y Doctorado en Ciencias Marinas y Costeras, en la línea de Manejo Sustentable (Anexo 1).

Además, existen programas cuyos egresados obtendrán títulos generales de grado, pero que preparan estudiantes en manejo costero a través de las investigaciones de sus tesis. Este es el caso del Colegio de la Frontera Norte y el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Ensenada, Baja California, en su maestría de Administración Integral del Ambiente, así como de la Universidad Autónoma de Baja California en su maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas. Ambos programas se formaron hace 30 años, por lo que son pioneros en la formación de recursos humanos y cuentan con varios egresados y académicos, tesis y publicaciones en temas relativos al manejo de zonas y recursos costeros. Igualmente sucede con los doctorados, cuyo nombre no es una limitante al estudio de las costas desde enfoques integradores, como por ejemplo el doctorado de Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Autónoma de Baja California, entre otros.

Con fines demostrativos se analizará un programa de licenciatura: Manejo Sustentable de Zonas Costeras (LMSZC), uno de especialidad: Gestión Ambiental y uno de maestría: Maestría Multidisciplinaria para el Manejo de la Zona Costero-Marina. Los tres programas responden a la necesidad de la nación de formar personal calificado en aspectos de manejo y conservación de los recursos y áreas costeras y marinas. Estos programas de estudios han sido diseñados

bajo una enseñanza constructivista, con una visión de integración multidisciplinaria y deseablemente interdisciplinaria; ello implica que el alumno es responsable de su propio aprendizaje, su actividad mental se aplica a contenidos y conocimientos multidisciplinarios que ya posee y, con ellos (y con otros colegas) reconstruye nuevos objetos de conocimiento interdisciplinariamente. En consecuencia, sus fortalezas están en desarrollar el pensamiento crítico y habilidades centradas en la solución de problemas y la toma de decisiones.

Estos programas se imparten desde la visión de la transversalidad curricular, la cual enfatiza en la necesidad de educar con una perspectiva más humanista e integral que acerca los contenidos curriculares con las problemáticas sociales vigentes con el propósito de lograr mejores condiciones para vivir y convivir (Moreno, 2001). Con ello, tales programas de estudios se ubican en un “*curriculum del futuro*” que busca mostrar a los estudiantes que pueden actuar sobre el mundo, ser partícipes de la generación de nuevos conocimientos y la transformación del conocimiento existente; que pueden participar en la investigación y del procesamiento de la información, de la capacidad de resolver problemas de manera reflexiva y metódica, con disposición de crítica y auto-crítica; enfatizar en el hincapié de la interdependencia de las áreas del conocimiento y su relevancia para afrontar problemáticas cotidianas (Magendzo, 2003). Algunos de los temas abordados en estos programas de estudio de manera transversal son: cultura democrática, multiculturalidad, educación ambiental, desarrollo sustentable, derechos humanos y múltiples facetas de la educación (para la diversidad, para la salud, para la seguridad, etc.).

Entre los principios didácticos requeridos en la enseñanza de temas transversales para la atención de los retos de las áreas costeras destaca el Principio de la Problematicación (Magendzo, 2003). Dicho principio señala que las situaciones problemáticas son resultado de tensiones actitudinales y valóricas que deben ser comprendidas por los estudiantes y que los temas transversales involucran en su complejidad diversas dimensiones del desarrollo humano. Por tanto, los estudiantes deben plantear y discutir las tensiones que se presentan en los temas transversales, deben complejizar el conocimiento, apropiarse de él críticamente y elaborar una postura al respecto. De tal forma este principio orienta a introducir metodologías de análisis, discusión y argumentación que permitan a los estudiantes tomar una postura personal fundamentada. Claramente el manejo de recursos naturales costeros es un ejercicio constante de aprendizaje con ensayo y error. No consiste en la simplificación de la realidad y en la selección de una medida inmediata y reactiva, sino que incluye una etapa de problematicación que dará origen a la planeación, implementación y evaluación de un programa de manejo que puede incluir una o varias estrategias. El proceso de problematicación en la zona costera permite plantear soluciones creativas y los equipos interdisciplinarios que se forman, innovan y producen resultados que, de otra manera no serían posibles. Entonces, será crítico identificar con claridad:

- La problemática que desea atenderse, visualizada y problematicada por los integrantes disciplinarios del equipo. El resultado de este primer paso es una nueva pregunta diferente a la inicial; es una pregunta de origen colectivo.

- Los sectores o actores que la reconocen y las razones por las que es un problema ahora, probablemente lo será (análisis prospectivo) y no lo fue antes.
- El conjunto de factores que dieron origen de forma directa e indirecta a la problemática (análisis retrospectivos).
- La diversidad de recursos naturales y procesos que se abarcan, y los actores vinculados con ellos (interacciones de componentes, flujos y procesos en sistemas acoplados sociedad-ambiente).
- Las escalas temporales y espaciales que presentan las evidencias (sistemas complejos).
- Las situaciones de contexto ambiental, socio-económico, cultural, administrativo, legal, político que hacen posible su presencia.
- La variedad de recursos humanos, financieros, materiales con que se cuenta para atenderla.
- Las estrategias de manejo colaborativo novedoso y las medidas creativas que permitirán el uso más eficiente y el resultado más efectivo.

Surgen aquí las siguientes preguntas: ¿Qué formación prepara a los profesionistas para que sean capaces de problematizar y comprender las distintas realidades? ¿Cómo se forma para integrar conocimientos, tomar decisiones y dar seguimiento a procesos para planear, ejecutar y evaluar con base en esas decisiones? ¿Se requiere una formación básica o especializada para construir conocimiento y habilidades para el manejo costero?

Sin duda, uno de los mayores retos de los programas educativos es lograr integrar el enfoque de la problemática de la zona costera desde múltiples disciplinas, a la vez que pueda proveer el currículum formal necesario para una formación interdiscipli-

naria, es decir, los documentos que norman la formación académica de los futuros profesionistas (*e.i.* planes o programas de estudios). Se esperaría incursionar en las ciencias humanas para que en el futuro cercano se pueda trascender a una educación transdisciplinaria, donde junto con los usuarios y sus diversos saberes se co-generen nuevas formas de manejar las costas y sus recursos. Por ahora, nos centramos en lo actual y disponible.

La propuesta del plan de estudios de la Licenciatura en Manejo Sustentable de Zonas Costeras (LMSZC) consideró central tomar lo esencial de las áreas disciplinarias, y conducir esa diversidad hacia la construcción de un cuerpo de conocimiento en el que se comparten elementos de análisis articulados coherentemente. En consecuencia, la estructura curricular plantea introducir a los egresados del bachillerato a las nociones teórico-prácticas medulares de las áreas disciplinarias que confluyen en la LMSZC, mismas que al progresar en el tiempo, se van interconectando transversalmente con los ámbitos de otras áreas, hasta lograr una conjunción concertada de las perspectivas y métodos desde un enfoque multidisciplinario. El siguiente paso hacia la integración en un campo de conocimiento interdisciplinario se concretaría al producir investigación con objetivos y metodologías colaborativas, cuyos productos fuesen la elaboración coordinada de documentos para su ejecución y comunicación (Bocco *et al.*, 2014). Es necesario contar, no solo con evaluaciones internas que periódicamente se llevan a cabo dentro de la misma institución (Dirección de Evaluación Educativa, UNAM), sino con una evaluación externa y con la acreditación que permitan asegurar la calidad de la educación e impulsar la equidad educativa (de la Garza,

2013). Estas constituyen tareas pendientes, que deberán realizarse en el corto plazo.

La Especialidad en Gestión Ambiental (EGA) como programa con orientación profesional pertenece al PNPC del CONACYT desde hace 11 años. Un 75 % de sus egresados proviene de las ciencias naturales, mientras que el resto proviene de las ciencias sociales e ingenierías. Este programa propone un esquema de enseñanza-aprendizaje de un año, que entrena al estudiante en el trabajo interdisciplinario a través de cursos teórico-prácticos obligatorios y optativos, que le permite integrar propuestas de solución a los problemas relacionados con la gestión ambiental con alta capacidad innovadora, técnica y metodológica, a través de la comprensión de la relación sociedad-ambiente bajo dos líneas de aplicación del conocimiento: el manejo de recursos naturales y los sistemas de información geográfica aplicados a la gestión ambiental. Este programa hace énfasis en que la vinculación y la investigación estén estrechamente relacionados en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por una parte los estudiantes realizan una estancia profesional de tres meses en los sectores público, privado o social para incorporar las experiencias de la práctica profesional en un tema de su interés; y por otra, a través de proyectos de investigación y vinculación, cuyas experiencias en el manejo de la zona costera permean cotidianamente en las distintas unidades de aprendizaje del programa. Entre esas unidades están: ordenamientos ecológicos costeros y marinos, ordenamientos sectoriales como acuícolas, turísticos y urbano, la evaluación del impacto ambiental de las actividades acuícolas, portuarias, la evaluación y estimación de riesgos en las zonas costeras de la península de Baja California y evaluación ambiental estratégica en ciudades costeras.

La Maestría Multidisciplinaria para el Manejo de la Zona Costero-Marina (MM-MZCM), pertenece al PNPC del CONACYT; toma como punto de partida la integralidad y multidisciplinariedad del manejo costero y plantea su programa de estudios considerando tres ejes: 1) Manejo y Aprovechamiento de Ecosistemas, 2) Ecología de Recursos Costeros, y 3) Herramientas de Apoyo al Manejo Costero. El objetivo del programa es formar recursos humanos altamente calificados en el manejo de la zona costero-marina con orientación multidisciplinaria y capacidad en la solución de problemas aplicados de interés local, regional y nacional. Se promueve la capacidad analítica con base en conceptos, metodologías y herramientas de estudio actualizados para el análisis de la problemática costera y marina. Asimismo, se canalizan recursos humanos hacia áreas o sectores prioritarios (educación, empresarial, gubernamental) que demanden capacitación y/o atención para enfrentar problemáticas asociadas con el manejo de recursos costeros a nivel nacional, competentes en el trabajo transdisciplinario, con información económica, social, política y ambiental, y el diseño de nuevos esquemas de preservación y usos sostenibles de la zona costera-marina. Se forman recursos humanos capacitados en el manejo integrado de la zona costero-marina con un enfoque integrativo y multidisciplinario para incidir en los diferentes sectores, generando conocimiento, gestión y soluciones integradas a las problemáticas actuales y futuras de las zonas costeras.

En cuanto a la carga de asignaturas, la licenciatura (LMSZC) tiene el mayor número de materias obligatorias referentes a las ciencias naturales y exactas (entre 15 y 20 unidades de aprendizaje durante toda la carrera) y 11 del área de las ciencias sociales.

La maestría (MMMZCM) posee sólo un curso obligatorio del área de las ciencias naturales. Las unidades de aprendizaje nombradas como “otros” están centradas en metodologías de investigación, seminarios de tesis, coherente con el perfil de investigación. Es notable que los cursos en tópicos especializados de ciencias naturales están prácticamente ausentes. Los tres programas poseen al menos un curso obligatorio del área de lo social.

En relación a las unidades de aprendizaje optativas, los programas de licenciatura y maestría ofertan una alta cantidad de cursos, 31 y 23 respectivamente. Es notable que todos los programas poseen cursos de las ciencias sociales (en promedio 11 unidades de aprendizaje). Las unidades de aprendizaje en las ciencias naturales y exactas son 27 en la MMMZCM y 12 en la LMSZC, mientras que la especialidad (EGA) no cuenta con ninguna en dicha área. Todos los programas poseen unidades de aprendizaje en aspectos tecnológicos tales como los sistemas de análisis espacial y percep-

ción remota. Asimismo, contemplan otros cursos orientados a la metodología de investigación y los seminarios de tesis como mecanismo para promover la titulación.

Utilizando la clasificación de Birch y Reyes (2018) para analizar las temáticas costeras abordadas en los trabajos de tesis y trabajos terminales en los tres programas de estudio, encontramos que en la LMSZC la mayoría de las investigaciones de grado abordan temas relacionados con el manejo pesquero (18%). En EGA los trabajos terminales versaron sobre el manejo de recursos costeros (florísticos, faunísticos e hídricos), mientras que aquéllos sobre investigación para la toma de decisiones son los más abundantes (24 y 21% respectivamente). En la MMMZCM se han elaborado abundantes tesis en temáticas sobre manejo de recursos costeros (*e. g.* recursos hídricos, bosques de mangle, peces, invertebrados) (21 %), sobre manejo ambiental (energético del agua, contaminantes) (17 %), y sobre manejo pesquero en particular (15 %) (tabla 1).

Amenazas, vulnerabilidades y nuevas propuestas

Las experiencias de aprendizaje del manejo costero desde una visión MIZC en México son aisladas. Existen múltiples casos de manejo costero de un recurso (*e.g.* una playa, un pez); manejo costero sectorial (*e.g.* recursos pesqueros por parte una unidad de gobierno); manejo integrado para atender a un par de sectores interconectados (*e.g.* portuario y turístico); manejo de un área costera (*e.g.* sistema arrecifal); sin embargo, son escasos los que mantienen la visión compleja del MIZC que hemos caracterizado anteriormente. No existe una eva-

luación documentada que indique en qué medida se han aplicado los atributos que definen MIZC y en qué medida son producto del curriculum formal de su formación académica. Para subsanar esta ausencia, se podría por ejemplo, analizar las tesis de los posgrados cuyo nombre no expresa su enfoque costero, pero que cuentan con rasgos propios de MIZC, ya sea en áreas protegidas tradicionales o novedosas; o en ecosistemas clave, como los tapetes de macroalgas, los arrecifes y las dunas costeras; o en procesos de producción como la acuicultura. Este

Tabla 1. Cuantificación de las temáticas abordadas en los trabajos de tesis de la Licenciatura en Manejo Sustentable de Zonas Costeras (LMSZC) (2006-2018 y en la Maestría Multidisciplinaria para el Manejo de la Zona Costero-Marina (MMMZCM) (2014-2017), Especialidad en Gestión Ambiental (EGA) (2006-2014).

Temática del trabajo de tesis	LMSZC	MMMZCM	EGA
Ecología.	4		3
Oceanografía.	3		
Calidad del agua.	3	2	1
Sistemas de información geográfica.	3		2
Manejo de riesgo.	3	3	11
Manejo de zona costera-marina.	3	3	
Manejo pesquero.	7	7	4
Manejo basado en comunidades humanas.	4		4
Manejo ambiental.	2	8	
Manejo basado en ecosistemas.		3	
Manejo de recursos costeros.	1	10	14
Planeación costera.	3	6	7
Servicios ecosistémicos.	4	2	
Toma de decisiones.		2	12
Cambio climático.		2	
Total.	40	48	58

podría ser el caso de la maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, el Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo, y aun el de Oceanografía Costera, todos ellos programas de la UABC.

En la evaluación de estos programas no se han documentado el currículum real (el currículum vivencial con respecto a lo planeado), el currículum oculto (aquellos valores, actitudes, expectativas y modos de actuar que influyen en la formación profesional de los estudiantes y que son consecuencia de las relaciones sociales y la organización de la institución) y el currículum nulo (aquellos contenidos que deberían incluirse en el currículum formal, no se enseña adecuadamente o no se contemplan) (González-Martínez y Bellido-Castaños, 2017). Asimismo, se ha encontrado que los instrumentos o recursos para la evalua-

ción del aprendizaje de temas transversales e interdisciplinarios es impropia o ausente (Espejel *et al.*, 2005).

En la actualidad los programas de educación superior son evaluados por los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES) y los organismos acreditadores reconocidos por el Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (COPAES). Sus resultados y observaciones son fundamentales para la planeación integral de las instituciones, la rendición de cuentas y reconocimiento público y prestigio (de la Garza, 2013). Los programas de posgrado son evaluados a través de la Evaluación y Seguimiento de Programas de Posgrado con la Metodología General del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNCP) establecido por CONACYT (Barrera y Cisneros-Cohernour,

2012). En este caso, contar con el reconocimiento del CONACYT obliga a una evaluación periódica considerando criterios de internacionalización, pertinencia, calidad, eficiencia y eficacia, en relación a resultados tales como la trascendencia y contribución al conocimiento. Bajo estos criterios y en conjunto con los resultados del seguimiento de egresados, los programas podrán obtener el reconocimiento y/o la re-acreditación por parte de los evaluadores, y con ello, la posibilidad de becas para la formación de nuevos estudiantes.

En el caso de la EGA como programa profesionalizante dentro del Programa Nacional de Posgrados de Calidad, ha sido evaluado en cinco ocasiones PNPC (2008, 2009, 2012, 2015 y 2018). El seguimiento de egresados ha permitido evaluar la pertinencia del programa, y los resultados generales evidencian que de un total de 65 encuestados en 2015 y 2018, el 83 % se desarrolla en campos afines a su formación, y lo hacen en un período máximo de seis meses después de su egreso. El 85 % de los encuestados considera que la formación académica recibida es congruente con los objetivos del programa; el 88 % considera que las herramientas adquiridas son aplicadas en su desempeño profesional; más del 60 % ha desarrollado labores profesionales en el sector público y privado, el 32 % en el sector social (organismos de la sociedad civil ambientales) y el 78 % opina que en su formación el aprendizaje más relevante fue a través de las experiencias de proyectos de investigación y sus reportes técnicos, permitiéndole identificar y proponer estrategias de solución a problemáticas complejas. A pesar de lo anterior, no se cuenta con una evaluación directa que determine en qué medida estos resultados se obtienen por haberse aplicado los atributos que definen

el MIZC, y en qué medida son producto del curriculum formal de su formación académica o de su experiencia profesional actual.

Arredondo-García *et al.* (2012) identifican cinco etapas en el desarrollo de equipos interdisciplinarios que dan soporte a programas educativos relacionados con ciencias ambientales, ciencias para la sustentabilidad, desarrollo humano, salud, urbanismo, psicología y riesgo. Estas son: 1) el origen de la idea, donde un reducido grupo de académicos construyen las bases teóricas y operativas de un programa no disciplinario; 2) la experimentación, en la cual se pone en marcha la idea y se incorporan gradualmente académicos según una estrategia de complementariedad en áreas del conocimiento; 3) la consolidación, cuando el equipo interdisciplinario se ha integrado e incorpora jóvenes formados en tal proceso educativo y con el convencimiento de que el esfuerzo colaborativo vale la pena; 4) la revisión o reestructuración del programa educativo con procesos de autoevaluación, evaluación externa y evaluación de egresados sobre los temas de estudio, las estrategias de aprendizaje y las formas de trabajo; y 5) la reintegración del programa con base en las experiencias analizadas y la actualización de las estrategias educativas empleadas. Tomando en cuenta esta categorización en etapas para analizar los tres programas de estudios seleccionados en este trabajo, podríamos decir que mientras la LMSZC está en etapa de experimentación, los otros dos programas están en etapas de consolidación.

Asimismo, la comunidad académica dedicada a la docencia del MIZC tiene claridad en que lo importante es el proceso de aprendizaje más que el resultado, pues el proceso es en sí mismo el resultado. No hay un caso de planeación, ejecución y evaluación

de un programa MIZC idéntico a otro, por lo tanto cada generación de cada programa es un experimento porque utiliza diferentes combinaciones de conocimientos y habilidades de sus profesionistas y estudiantes y, con ello han logrado la mejor comprensión de las problemáticas costeras. La problematización de la zona costera de manera interdisciplinaria ha permitido el diseño de las mejores decisiones de gestión o manejo, aunque hasta ahora, éstas hayan sido parciales o sin la colaboración de todos los actores involucrados. El éxito de las medidas de manejo costero podrán verse en el largo plazo, pero los egresados de los programas aquí descritos, por ejemplo los de EGA, en las encuestas de evaluación en CONACYT, demuestran ser académicos, funcionarios, consultores o empresarios quienes aseguran que el programa les mostró una forma diferente de ver el mundo y les generó empatía hacia las otras disciplinas e interés en la resolución de problemas complejos.

Es importante reconocer que los procesos de MIZC son largos y parsimoniosos, y contradicen los esquemas y tiempos institucionales. Es, por tanto, importante documentar los casos de éxito, y definir para cada proyecto de cada generación o tesis, los instrumentos normativos, políticas públicas, instituciones y mecanismos de participación social que ayudaron a tener un resultado positivo de la enseñanza ofrecida por las instituciones educativas que ahora se aventuraron a innovar en el proceso de enseñanza-aprendizaje de MIZC. Finalmente, es una necesidad urgente el imple-

mentar mecanismos de evaluación para la mejora de los programas de manejo *ad hoc*, que permitan incorporar los “*experimentos generacionales*” y retroalimentar el proceso general de aprendizaje social para el MIZC con la experiencia de los egresados y evaluar a nivel nacional, comparativamente el éxito formativo de los egresados en diferentes programas y niveles de educación. Esto se sugiere porque todavía nos preguntamos si la formación temprana sobre el MIZC (y otras licenciaturas interdisciplinarias) sin profunda especialización (como las que preparan en las carreras disciplinarias) facilita la interlocución eficaz en la solución de problemas abordados desde la multi, inter o transdisciplina, o si la madurez de profesionistas especializados y con posgrados disciplinarios hacen más eficaz el aprendizaje del MIZC. Los egresados de licenciaturas interdisciplinarias son una novedad en el país y su ingreso en los posgrados nos ha permitido observar tres tipos de estudiantes, los que se insertan al mercado laboral en organizaciones de la sociedad civil o en el gobierno, los que continúan su formación interdisciplinaria en posgrados de este tipo, o los que optan por estudios disciplinarios. En nuestra apreciación, los egresados de programas interdisciplinarios tienen una cualidad loable para MIZC, y éste es su interés por la utilización de los datos existentes para la solución de un problema, en contraste con la mera generación de información con el único fin de acumular conocimiento.

Indicadores y alcances en el estudio del manejo integrado de zonas costeras

Es necesario destacar que el manejo de recursos naturales se hace desde los usuarios y no desde los recursos. Por ello, la comprensión y predicción de los recursos naturales como objetos de estudio para contestar preguntas meramente científicas desde las disciplinas del conocimiento es insuficiente. Se requiere de entender las ideas, expectativas, valores y usos de tales recursos por parte de las sociedades humanas que constituyen los socio-ecosistemas bajo estudio, y cuyas condiciones de vida se sostienen en tal interacción. De ahí la necesidad de que los programas para la formación de profesionales del manejo deban trascender a un carácter transdisciplinario.

Los socio-ecosistemas costeros generan abundante capital natural y humano a la nación, por lo que una visión incompleta sobre su uso y, las limitadas capacidades de gestión gubernamental y de participación social para su protección, aprovechamiento y restauración a largo plazo, hacen prioritaria la creación de capacidades humanas para atender sus problemáticas y retos. Se han mencionado algunas de las áreas de oportunidad para la mejora de los procesos de enseñanza para el MIZC (*e.g.* aplicación de los atributos que definen al MIZC, documentar el efecto formativo del curriculum real, oculto y nulo). Sin embargo, el más crítico es sin duda, la retroalimentación de la práctica profesional. Si bien, la labor principal de los gestores y manejadores no es la docencia, es necesaria su colaboración documentando sus experiencias con las bases del conocimiento y metodológicas que recibieron, y que compartan sus experiencias del proceso de planeación, ejecución y evaluación de programas para la solución

de los problemas de las áreas marino-costeras a los que se enfrentaron.

Por su parte, los académicos que forman a estos profesionistas deben adoptar modelos educativos que construyan capacidades y competencias en los egresados a través de usar estrategias didácticas tales como, dinámicas de discusión horizontal en las aulas; acceso a las experiencias fuera del aula como un objeto académico de estudio; resaltar la importancia del contexto y la enseñanza por proyectos. Es importante que las prácticas estén interconectadas entre las diferentes asignaturas para lograr la integración necesaria en la resolución creativa y novedosa de las problemáticas planteadas por las comunidades que habitan las zonas costeras de México. También es necesario promover la vinculación entre instituciones, empresas y organizaciones relacionadas con el quehacer profesional de un gestor o manejador de zonas costeras para la prestación de servicios diversos y prácticas profesionales que contribuyan al enriquecimiento de dichas instituciones, de los programas y de los estudiantes.

Asimismo, es necesario llevar a cabo evaluaciones particulares de cada plan de estudios que permitan determinar el cumplimiento de los objetivos de enseñanza y puedan ser acreditados. Los procedimientos e indicadores para ello están ampliamente documentados en la literatura y no es objetivo de este capítulo. Lo que es relevante en el proceso de retroalimentación de la enseñanza y la práctica del MIZC mencionado, es determinar con los actuales gestores en la solución de problemas de las costas la respuesta a la pregunta: ¿qué características requiere el personal o equipo de trabajo

para fortalecer sus procesos de tomar decisiones? (Bellido-Castaños, 2017). Por ello, es común que las universidades les soliciten información a los empleadores, a partir de cuestionarios cuyas respuestas serán cuidadosamente reflexionadas:

- ¿Cuántos egresados de programas educativos multidisciplinares ha contratado y de qué instituciones egresaron?
- ¿Qué criterios tomaron en cuenta para su contratación?
- ¿Qué actividades requieren que estos profesionistas lleven a cabo?
- ¿Qué conocimientos, habilidades y destrezas de la profesión requieren esos profesionistas para llevar a cabo las actividades asignadas?
- ¿Qué actitudes y valores requieren presentar tales profesionistas?
- ¿Requieren formación en computación?
- ¿Requieren dominio de otros idiomas?
- ¿Qué necesidades de formación y actualización profesional requiere su empresa o institución?
- ¿Qué aspectos relevantes son requeridos en el desempeño de sus profesionistas?
- ¿Con qué instituciones de docencia o facultades tiene vínculos de colaboración su empresa o institución?

Con ello, las instituciones de docencia incluyen información indispensable de po-

tenciales empleadores dentro de su Análisis de Práctica Profesional (APP) o la relación plan de estudios-sociedad, que constituye la segunda etapa de un proceso de evaluación de los planes de estudios. La intención es, por tanto, actualizar la demanda profesional de sus egresados de forma contextualizada y valorada institucionalmente.

Por otra parte, sobre la vinculación interinstitucional para enriquecer la enseñanza y la experiencia de programas de estudio suelen tomarse los siguientes indicadores (Bellido 2017):

- Áreas actuales de vinculación con los programas de estudios
- Áreas potenciales de vinculación con los programas de estudios
- Convenios de colaboración establecidos por año
- Seguimiento de los proyectos de vinculación que se llevan a cabo
- Resultados obtenidos de los proyectos de vinculación
- Participación de la planta docente y de estudiantes en los proyectos de vinculación
- Impacto de los proyectos de vinculación en el desempeño de las funciones sustantivas de las instituciones participantes

Lecciones aprendidas

Para la SEP, los estudios a nivel licenciatura permiten adquirir conocimientos avanzados en un campo de trabajo o estudio que requiera una comprensión crítica de teorías y principios. Los estudios de posgrado (especialidad, maestría y doctorado) requie-

ren contar con el nivel de licenciatura y se enfocan en la obtención de conocimientos altamente especializados, de vanguardia y en la frontera más avanzada de un campo de trabajo o estudio concreto y articulación entre diversos campos. Es necesario

analizar cuantitativamente cual de los dos niveles de estudio es óptimo para la enseñanza de MIZC o si son complementarios. Los egresados de licenciaturas interdisciplinarias usan y aplican técnicas más complejas, tanto en su vida laboral (donde son altamente solicitados por Consultorías), como en su desarrollo profesional (son más eficientes en abordar problemáticas de estudio complejas) en comparación con egresados de licenciaturas unidisciplinarias donde su visión, métodos, e incluso su lenguaje resulta insalvable y puede presentarse una brecha que dificulta una interlocución eficaz entre los especialistas formados en la unidisciplina y los formados en la multi e interdisciplina. De ahí que la falta de profunda especialización se considere más una ventaja que una desventaja en los programas de estudios multidisciplinarios, pues, por un lado, evita que las premisas de una disciplina condicionen el aprendizaje, y la consecuente parcialidad en el abordaje y la solución de problemas; y, por otro, proporciona mayor libertad para moverse a través de distintos ámbitos, generando más oportunidades para el trabajo inter-disciplinario.

Otra lección aprendida es que se necesita reforzar el sentido de pertenencia y su definición como profesionista en el MIZC (Chircop, 2000), que se perciba como un potencial tomador de decisiones con una expectativa del manejo costero más allá de la noción de “control para una gestión administrativa eficiente”. Ya que, si bien en el pasado el manejo costero estuvo principalmente basado en el rédito final de los recursos, actualmente busca el aprovechamiento racional de los recursos naturales que asegure su perdurabilidad (uso sostenible) y la conciliación de intereses de múltiples actores beneficiados e interesados por tales

aprovechamientos (*e.g.* usuarios, sectores, entidades administrativas). Es decir, debe mantenerse la noción de que se tomarán decisiones sobre recursos que forman parte de sistemas naturales acoplados a sistemas humanos, más que sobre elementos aislados, sujetos a la apropiación o al aprovechamiento alienado de quien lo usa; y que tales sistemas complejos son producto de procesos evolutivos de cambio y, por ello, el alcance del éxito de las decisiones sobre ellos debe ser a largo plazo como recién mencionan Woor *et al.* (2019) en el programa de WeAdapt.

Finalmente, otra lección aprendida es sobre la importancia del involucramiento de los gestores actuales en la solución de problemas de las áreas costeras. La necesidad de que ellos participen en la retroalimentación del proceso de enseñanza de sus potenciales empleados o colaboradores, obliga a invitarlos a contribuir y actualizar colectivamente el perfil de egreso de los estudiantes a solicitud de las instituciones de educación, y a realizar convenios de colaboración con las mismas para enriquecer la experiencia de los profesores y los próximos egresados que desean formar parte de la transformación de la gestión costera en México.

Se estima que durante los próximos años se incrementará la demanda de ingreso a la educación superior, como resultado de la obligatoriedad de la educación media superior, y con ello habrá mayor demanda de formación a nivel posgrado ante la creciente competencia internacional. Asimismo, el CONACYT está orientando su capacidad a la atención de problemas de naturaleza compleja y que ayuden a mejorar la situación de inequidad que predomina en todo el país, y también en las costas. En consecuencia, México tiene que hacer fren-

te de manera simultánea a cuatro retos: 1. Ampliar significativamente la cobertura de educación superior pública a nivel nacional reforzando la aplicación del conocimiento a la solución de problemas locales, en este caso costeros. 2. Cerrar las brechas interestatales de cobertura y de calidad existentes a través de programas educativos como los aquí descritos. 3. Mejorar la pertinencia de la oferta educativa, realizar cambios en los modelos educativos tradicionales con que aún operan amplios segmentos de la

educación superior y mejorar las estrategias de evaluación para que los programas novedosos sean evaluados pertinentemente y, 4. Ampliar la inversión para fortalecer el posgrado y el desarrollo de la CTI en asociación con los usuarios de los recursos de la costa. Ello abre una amplia perspectiva de diseño creativo e innovador para los planes de estudios emergentes, donde los docentes y las sociedades costeras puedan incidir de manera directa.

Literatura citada

- Ander-Egg, E., 1999. Interdisciplinariedad en educación. Magisterio del Río de la Plata, Buenos Aires Argentina. 111p.
- ANUIES, 2018. Visión y acción 2030 Propuesta de la ANUIES para renovar la educación superior en México Diseño y concertación de políticas públicas para impulsar el cambio institucional. ANUIES México D.F. 181p.
- Arora, A., E. Gogoi, D. Joy, P. Kumar, R. Luthra, U. Pal, A. Pervaiz, y C. Rumbaitis del Río, 2019. Bringing adaptive management to life: Insights from practice. ACT.
- Arredondo-García, C., L. Mendoza-Espinosa, E. Arellano, A. García-Gastelum, L. W. Daessle, R. Eaton, J.L. Fermán- Almada, C. Leyva, R. Martínez, y I. Espejel. 2012. Etapas del desarrollo de equipos para la formación interdisciplinaria: experiencias de la línea ambiental en la Universidad Autónoma de Baja California. En: Espejel Carbajal, M. I., Arredondo García, C. y González Barradas, R. Posgrados Pluridisciplinarios en Ambiente y Sociedad: Aproximaciones diversas. Mexicali, Baja California. Universidad Autónoma de Baja California, 396p. ISBN 978-607-607-111-3
- Bellido-Castaños, M., 2017. Propuesta de evaluación y actualización de un plan de estudios de licenciatura. Pp.149-168. En: Bellido-Castaños M. E. (Coord.) Planeación y evaluación curricular. UNAM. FES Zaragoza, México D.F.
- Barragan, M. J. M., 2012. Manejo Costero Integrado en Iberoamérica: Diagnóstico y propuestas para una nueva política pública. Red IBERMAR (CYTED), Cádiz, 152 p.
- Barrera, B.M.E., y E.J.Cisneros-Cohernour, 2012. La evaluación de los posgrados en México. *Revista Argentina de Educación Superior*, 4(5): 157-171.
- Berkes, F., 2017. Environmental Governance for the Anthropocene? Social-Ecological Systems, Resilience, and Collaborative Learning. *Sustainability*, 9(7): 1232.
- Birch, T., y E. Reyes, 2018. Forty years of coastal zone management (1975–2014): Evolving theory, policy and practice as reflected in scientific research publications. *Ocean & Coastal Management*, 153: 1-11.
- Bocco, G, I., A. Espejel, P. Hualde, L. Liedo, C. Olivé, E. Reyes, E. Robles, y R. Suárez. 2014. Evaluación de proyectos multi/inter/transdisciplinarios. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.
- Challenger, A., G. Bocco, M. Equihua, E. Lazos Chavero, y M. Maass, 2014. La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental: Ciencia y Política Pública*, 6(2), disponible en: <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/download/227/244> [fecha de consulta: 18 de enero de 2016].

- Challenger, A., A. Córdova, E. Lazos Chavero, M. Equihua, y M. Mass, 2018. La opinión experta evalúa la política ambiental mexicana: Hacia la gestión de socioecosistemas. *Gestión y Política Pública*, XXVII (2): 431-473.
- Cicin-Sain, B., y R. W. Knecht, 1998. Integrated Coastal and Ocean Management, Concepts and Practices. Island Press. US. 517 p
- Chircop, A., 2000. Teaching integrated coastal management: lessons from the learning arena. *Ocean and Coastal Management*, 43: 343-359.
- de la Garza, A. J., 2013. La evaluación de programas educativos del nivel superior en México. *Avances y perspectivas. Perfiles educativos*, 35: 33-45.
- Euán-Ávila, J., S. Salas, y J. Fraga, 2004. Educación y entrenamiento interdisciplinario para el manejo costero. p. 629-640. En: Rivera-Arriaga E, G.J. Villalobos, I. Azuz-Adeath,, y F. Rosado May (Eds). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS- Universidad, Universidad de Quintana Roo.
- Espejel, I., C. Leyva, E. Arellano, G. Arámburo, R. Martínez, J.L. Fermán, y C. Arredondo, 2005. Evaluating interdisciplinary teaching and research in developing countries. *Intrerdisciplinary Environmental Review*, VII(1): 82-90.
- French, W. P., 1997. Coastal and Estuarine Management. Publisher: Routledge, London.
- Gilbreath, J., 2003. Environment and development in Mexico. Recommendations for reconciliation. Yale Center for Environmental Law and Policy. Washington. 181 p.
- González-Martínez, G., y M. E. Bellido-Castaños, 2017. Desarrollo de la noción de curriculum. p. 21-34. En: Bellido-Castaños M.E (Coord.) Planeación y evaluación curricular. UNAM. FES Zaragoza, México D.F.
- León, C. 2004. Piezas de un rompecabezas: Dimensión socioeconómica de las costas de México. p. 5-26. En: Rivera-Arriaga E, G.J. Villalobos, I. Azuz-Adeath, y F. Rosado May (Eds). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS- Universidad, Universidad de Quintana Roo.
- Magendzo, A., 2003. Transversalidad y curriculum. Colombia: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Nava, F. J. C., P. Arenas, y F. Cardoso, 2017. Coastal management in Mexico. Improvements after the marine and coastal policy publication. *Ocean and Coastal Management*, 137: 131-143.
- Moreno, C. M., 2001. Valores transversales en el curriculum. La Tarea. Revista de Educación y Cultura de la Sección 47 del SNTE, 15: 17-24.
- Ostrom, E., 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325: 419-422.
- Rivera-Arriaga, E., y I. Azuz-Adeath, 2004. Manejo costero en México ante los acuerdos de Johannesburgo. p. 611-628. En: Rivera-Arriaga E, G.J. Villalobos, I. Azuz-Adeath, y F. Rosado May (Eds). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS- Universidad, Universidad de Quintana Roo.
- Salas-Zapata, W.A., L.A. Rios-Osorio, y J. Alvarez del Castillo. 2011. Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2):136-142.
- Seingier G., I. Espejel, L. Villers, y O. Jiménez-Orocio. 2018. Caracterización y regionalización de las zonas costeras de México, que incluyan métodos de sistemas de información geográfica y estadísticas biofísicas y socioeconómicas en condiciones actuales y con cambio climático. Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México 2013-2016. Reporte técnico. PNUD-INECC. 178 pp.

Sitios web

- <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/comanagement> Fecha de visita Mayo 2019
- <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>. Fecha de visita Mayo 2019
- <https://www.gob.mx/conanp/prensa/mexico-es-lider-mundial-en-la-proteccion-de-areas-marinas>. Página creada en enero 2018

ANEXO 1. Listado de programas de nivel licenciatura y de posgrado ofertados en la República Mexicana con enfoque costero.

Programa	Institución	Perfil de egreso	Líneas particulares de especialización
Nivel licenciatura			
Manejo de Recursos Naturales.	Universidad de Quintana Roo. Campus Cozumel y Chetumal.	El egresado tendrá conocimientos básicos de métodos y técnicas tanto teóricos como prácticos en 3 áreas fundamentales: ciencias biológicas-ecológicas, social-antropológico y económico-administrativas. Con este perfil híbrido tendrá una visión integradora y habrá desarrollado habilidades, actitudes y valores que le permitan llevar a cabo procesos participativos de planificación, gestión y en general, el manejo de los recursos naturales, lo anterior le permitirá tomar decisiones correctas al respecto.	<ul style="list-style-type: none"> - Manejo Integrado de Recursos Costeros (campus Cozumel y Chetumal). - Manejo Integrado de Recursos Acuáticos. - Manejo Integrado de Recursos Terrestres, en el campus Chetumal.
Manejo Sustentable de Zonas Costeras LMSZC.	UNAM Fac. Ciencias (2002-2018) Sisal Yucatán Fac. Ciencias-ENES (2018) Mérida	Profesionista con capacidad de planear la explotación de los recursos naturales con la premisa de que su aprovechamiento pueda sostenerse en el tiempo, lo cual implica conocer las características y el potencial de los sistemas naturales, considerando su capacidad regenerativa	
Ingeniero en sistemas costeros.	Universidad de Chiapas.	El egresado al concluir su carrera poseerá conocimientos orientados a diagnosticar, identificar y solucionar problemas que afectan a los sistemas costeros, marinos y limnológicos, desarrollando y aplicando metodologías que permitan evaluar y aprovechar la producción y productividad de los mismos.	
Biología Marina.	Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur.	Es un profesional con conocimientos sobre diversas metodologías de investigación, que le permiten conocer los principios fundamentales e integradores de los procesos biológicos, emplear metodologías de manejo, conservación, producción y protección de los recursos del mar y de la costa con referencia a las formas de organización social predominantes y sobre los distintos elementos sociales, económicos y políticos que ejercen una influencia en la conservación y aprovechamiento del medio marino.	
Biología Marina.	Universidad Autónoma de Yucatán UADY. Mérida.	El egresado podrá catalogar y evaluar recursos marinos aplicando el método de investigación científica, a través de la elaboración y el desarrollo de planes interdisciplinarios de manejo y conservación, de forma ética y responsable	<ul style="list-style-type: none"> - Diagnóstico de la situación de los recursos marinos. - Gestión ambiental en la zona costera. - Manejo y conservación de recursos marinos. - Gestión de proyectos acuícolas y pesqueros para el aprovechamiento sustentable.
Biología Marina.	Universidad del Mar UMAR. Puerto Escondido Oaxaca.	Formar profesionales capaces de evaluar la biodiversidad, los procesos biológicos marinos y costeros; generar conocimiento científico-tecnológico; así como proponer estrategias de gestión, conservación y manejo para atender la problemática ambiental de la región y el país.	
Biología Marina.	Universidad Veracruzana UV Poza Rica-Tuxpan.	Formar profesionistas con un perfil integral y valores éticos que le den competencia para generar conocimiento y comprender los procesos biológicos de los organismos marinos, que conduzcan al manejo adecuado de los recursos biológicos marinos, así como para detectar y proponer estrategias de producción y colaborar en el desarrollo social y cultural de los diferentes sectores, preservando el ambiente marino dentro del marco del desarrollo sustentable	

ANEXO 1. Listado de programas de nivel licenciatura y de posgrado ofertados en la República Mexicana con enfoque costero.

Programa	Institución	Perfil de egreso	Líneas particulares de especialización
Nivel licenciatura			
Biología Marina.	Universidad Autónoma de Baja California Sur	Con un perfil de competencias, el biólogo marino será capaz de: coadyuvar en el manejo y conservación de los seres vivos, colaborar en investigaciones originales y de vanguardia sobre ecosistemas marino, laborar en proyectos de manejo y conservación de los recursos marinos, participar en el desarrollo de biotecnologías, colaborar en propuestas y medidas para mitigar la alteración de los hábitats marinos, en la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos marinos al cambio climático, colaborar en la gestión de recursos para proyectos científicos, técnicos ambientales y de inversión, divulgar al público en general la información técnica y científica relativa a la Biología Marina y transmitir de manera formal el conocimiento de las ciencias biológicas.	Biología de la Conservación. Ecología Marina. Biotecnología. Acuicultura. Manejo de Recursos Marinos
Gestión de zona costera	Universidad Autónoma de Sinaloa UAS. Sede Mazatlán.	El profesional de gestión de zona costera tendrá capacidad para el manejo sustentable de la zona costera en relación con el aprovechamiento, conservación y preservación de los recursos naturales, para lo cual planea, orienta, da seguimiento y evalúa los procesos de su manejo, mediando para la toma de decisiones entre todos los participantes.	
Gestión de Recursos Marinos y Portuarios.	Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Marinas	Profesionista competente con una formación integral, amplia visión científica y técnica, capaz de administrar los recursos marinos, costeros y portuarios de forma sustentable y ética con beneficio a la sociedad.	
Posgrado			
Gestión Ambiental. Especialidad	Universidad Autónoma de Baja California UABC.	Profesionista con alta capacidad innovadora, técnica y metodológica, que le permite comprender los fundamentos que definen la relación sociedad-ambiente. Que prevenga y proponga posibles soluciones para los problemas en el campo de gestión ambiental, mediante la realización de actividades profesionales que pueda coadyuvar a la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, a través de la aplicación de los instrumentos preventivos y correctivos de la gestión ambiental.	Manejo de Recursos Naturales. Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión Ambiental.
Maestría y Doctorado en Ciencias Marinas y Costeras	Universidad Autónoma de Baja California Sur, UABCS.	El egresado de la línea de Manejo Sustentable tendrá la capacidad de realizar investigaciones orientadas a la solución de problemas concretos del manejo de la zona costera, con una proyección de sustentabilidad. Estará preparado para integrar y evaluar estudios, así como para diseñar y juzgar estrategias y políticas que impacten a la conservación y el desarrollo de la zona costera.	Acuicultura. Biología de la Conservación. Ecología Marina. Manejo Sustentable.
Maestría Multidisciplinaria para el manejo de zona costera	Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX.	Profesionista con conocimientos sólidos sobre los aspectos multidisciplinarios del manejo de la zona costero marina, lo que le permitirá adquirir una visión integradora, holística y multidisciplinaria de la complejidad del ambiente costero y marino.	Ecología de Recursos Costeros. Manejo y Aprovechamiento de ecosistemas. Herramientas de Apoyo para el Manejo Costero.

ANEXO 1. Listado de programas de nivel licenciatura y de posgrado ofertados en la República Mexicana con enfoque costero.

Programa	Institución	Perfil de egreso	Líneas particulares de especialización
Posgrado			
Ciencias: Ecología Marina Maestría	Universidad del Mar UMAR. Oaxaca	Ampliar y consolidar los conocimientos sobre la Ecología Marina y habilitar al estudiante para desarrollar trabajos de investigación multidisciplinaria, aplicando en forma innovadora el conocimiento científico y técnico, que pueda servir como plataforma para los estudios de doctorado. Formar recursos humanos de excelencia académica en el área de la Ecología Marina, capaces de impulsar el aprovechamiento racional y ético de los recursos marinos para incrementar el desarrollo cultural, social y económico de la región, el estado y el país.	Ecología y Sistemática Marina y Costera. Dinámica de Poblaciones Pesqueras. Oceanografía. Ecología Reproductiva de la Fauna Marina y Costera. Manejo de Recursos y Desarrollo Sustentable
Maestría en Ciencias en Recursos Acuáticos	FACIMAR, Facultad de Ciencias del Mar UASinaloa	Formar recursos humanos de alto nivel y competitivo para realizar trabajos de investigación así como para la aplicación innovadora del conocimiento científico y tecnológico mediante el desarrollo de proyectos que coadyuven a la solución de problemas identificados en el sector acuícola, pesquero y en general en el medio ambiente acuático.	Acuicultura. Pesquerías. Manejo de Zona Costera.
Maestría en Ciencias. Doctorado en Ciencias. Maestría y Doctorado	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM	Formar maestros y doctores en ciencias en el ámbito de las ciencias de los sistemas acuáticos, con visión multi a interdisciplinaria, capaces de comprender la estructura y/o función de los sistemas acuáticos en las temáticas de su interés, preparar recursos humanos en diversos aspectos de los campos de conocimiento del posgrado, realizar trabajo científico original y de alta calidad académica, así como aplicar el conocimiento adquirido para resolver problemas emergentes en las ciencias acuáticas, entre ellos, los relacionados con la conservación y el uso y manejo sostenibles de los recursos acuáticos.	Biología Marina. Geología Marina. Oceanografía Física. Química Acuática. Limnología.
Oceanografía costera . Maestría y Doctorado.	Universidad Autónoma de Baja California UABC.	Desarrollar en el egresado el dominio del conocimiento de frontera en su especialidad académica, así como los criterios y habilidades para la aplicación del mismo en problemas de investigación y de uso de la zona costera.	Química Marina. Ecología del Plancton y Productividad. Oceanografía Física. Botánica Marina. Dinámica de Poblaciones. Geología Costera. Microbiología Marina. Oceanografía por Sensores Remotos.
Doctorado en desarrollo sostenible.	Universidad de Quintana Roo.	Formar recursos humanos de alta calidad en investigación, capaces de identificar e integrar los factores sociales, económicos y ambientales involucrados en un sujeto de estudio que les permita diseñar y ejecutar propuestas para coadyuvar de manera sustancial en el desarrollo sostenible del mismo.	Manejo de Recursos Naturales Costeros e Insulares . Gestión de Turismo y Ocio.
Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas	Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur.	Capacitar recursos humanos de alta calidad académica en el campo de las Ciencias Biológicas y Agrícolas; formar investigadores, profesores y profesionales en el conocimiento, manejo y aprovechamiento de los organismos vivos y los recursos naturales y agrícolas; y contribuir al avance científico, tanto básico como aplicado, en las áreas disciplinares afines al programa.	Investigaciones costeras

ANEXO 1. Listado de programas de nivel licenciatura y de posgrado ofertados en la República Mexicana con enfoque costero.

Programa	Institución	Perfil de egreso	Líneas particulares de especialización
Posgrado			
Ecología Marina. Doctorado.	Universidad del Mar UMAR. Oaxaca	Formar recursos humanos de alto nivel en el área de la ecología marina, capacitados para realizar investigación científica original, difundirla en los medios pertinentes, aplicar los conocimientos científicos y tecnológicos a la solución de problemas enfrentados por la sociedad en el uso y conservación de recursos marinos, con un sólido compromiso ético y profesional hacia la sociedad.	Ecología y Sistemática Marina. Dinámica de Poblaciones y Manejo de Recursos Marinos. Interacciones Físico-Biológicas en Ecosistemas Marinos.
Ciencias Marinas y Costeras. Maestría y Doctorado	Universidad Autónoma de Baja California Sur UABCS.	El egresado será capaz de diseñar y dirigir investigaciones originales y de alta calidad, así como transmitir conocimientos a los sectores sociales, productivos y académicos. Además podrá participar en la formación de recursos humanos, tendrá la capacidad de liderazgo, un espíritu emprendedor, y los más altos valores de ética profesional.	Manejo Sustentable. Acuicultura. Biología de la Conservación. Ecología Marina.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Resiliencia costera: elementos para su instrumentación

A. V. Balderas Cordero, J. I. Euan Avila y C. León

Resumen

Prever y responder de manera institucional a los impactos de eventos extremos requiere información de los niveles de resiliencia de una comunidad y su entorno natural. La resiliencia es la capacidad de respuesta de un sistema para reponerse ante eventos adversos, el concepto está íntimamente ligado a la vulnerabilidad. Las localidades costeras son vulnerables a tormentas, huracanes y crecientemente a los efectos del cambio climático. Estimar y detectar las deficiencias de las variadas capacidades de respuesta y eventualmente subsanarlas es clave para incrementar la resiliencia. En este capítulo, se presentan los resultados de evaluar la resiliencia del socio-ecosistema costero de Dzilam de Bravo, Yucatán. Después del paso del huracán “Isidore” (Huracán de categoría 3). Se utilizaron 36 indicadores para establecer un índice de vulnerabilidad: siete (7) para determinar el nivel de exposición, diecisiete (17) para la sensibilidad y doce (12) para la capacidad de respuesta. Estableciendo la resiliencia

como el complemento de la vulnerabilidad, los resultados mostraron que la localidad tiene un nivel de resiliencia “medio”. De las tres dimensiones evaluadas (social, económica, ecológica), la económica resultó con el mayor nivel de vulnerabilidad 3.26 de un máximo de 5 puntos y por consiguiente la de menor resiliencia (2.74). En este trabajo, se exponen las diversas afectaciones que limitan restablecer las actividades de pesca y que determinaron el nivel de resiliencia. Su análisis permitió sugerir medidas de adaptación que resultan esenciales para mejorar la capacidad de respuesta y fortalecer la resiliencia del socio-ecosistema.

Palabras clave: resiliencia costera, Dzilan de Bravo, indicadores de vulnerabilidad.

Introducción al tema

Conocer la capacidad de respuesta de los ambientes, habitantes y autoridades ante eventos hidrometeorológicos extremos es esencial para prevenir, intervenir y mejorar estas capacidades. Folke *et al.* (2004), en el ámbito ecológico, menciona que la resiliencia puede definirse como “*la capacidad de un sistema para absorber las perturbaciones y reorganizarse mientras se somete a un cambio, de modo que aún conserve la misma función, estructura e identidad*”. El concepto es aplicado en diferentes niveles de un sistema: individuo, población, comunidad o ecosistema (Gunderson, 2000); y es una característica importante dentro de un socio-ecosistema para valorar la capacidad de recuperación de los mismos (Folke, 2006). Un socio-ecosistema es un sistema que incluye a la sociedad y componentes ecológicos donde distintos componentes políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos etc. se encuentran en interacción mutua a cualquier escala de la comunidad y su entorno circundante (Adger *et al.*, 2005; Gallopin, 2006). En un socio-ecosistema, la resiliencia se refiere a la capacidad de absorber perturbaciones recurrentes e imprevistas por huracanes, inundaciones,

incendios, y otras perturbaciones, refleja el grado en el que el sistema es capaz de auto organizarse y recuperarse.

Caracterizar, estimar e incrementar la resiliencia de un socio-ecosistema se ha convertido en una necesidad política y social ante las alteraciones ambientales, formas de usos de los espacios y sus recursos y las preocupaciones por los posibles efectos del cambio climático, especialmente en los espacios costeros. El concepto puede contribuir a encontrar el equilibrio entre las actividades humanas y el ecosistema para coexistir y mantenerse en el largo plazo. Cutter *et al.* (2014) mencionan que elevar la resiliencia ante posibles desastres ha sido señalado a nivel mundial como una forma para que las comunidades humanas se preparen y planeen la forma de amortiguar, recobrar y adaptarse exitosamente ante los eventos adversos.

Actualmente el 23 % de la población mundial ya vive a menos de 100 km de la costa, sufren de los efectos de tsunamis, huracanes, y la elevación del nivel del mar, y se prevé que en el 2080 habrá un incremento importante de la población en zonas costeras (Adger *op. cit.*) es por ello que los

socio-ecosistemas cercanos a la costa se encuentran en condiciones de alto riesgo. Un ejemplo a estas exposiciones lo encontramos en Yucatán, estado ubicado al sureste de México en cuya franja costera habitan alrededor de cien mil personas distribuidas en 14 localidades, afectadas por los huracanes, con un crecimiento poblacional que ha ido en aumento a partir de la década de los noventa y se espera, que su población incremente sustancialmente en el futuro (INEGI, 2010). Por su vocación, una de las principales actividades económicas afectadas por los huracanes es la pesca, principalmente sobre los recursos, el hábitat y las faenas de pesca (Rios-Lara *et al.*, 2011).

El Centro Nacional de Prevención contra Desastres (CENAPRED, 2002) afirma que de 1900 a 2002 los eventos hidrometeorológicos extremos como son huracanes y tormentas tropicales fueron en aumento en cuanto a intensidad en la península de Yucatán, ya que durante la primera mitad del siglo huracanes de categoría III, IV, y V no se habían presentado, mientras que para la segunda mitad del siglo se registraron siete eventos que se encontraban dentro de estas categorías, afectando principalmente a las poblaciones costeras.

Morecroft *et al.* (2012) hace notar que existe incertidumbre acerca de la mejor forma de fortalecer la resiliencia, por lo que es necesario identificar las formas más efectivas y eficientes para conocer el nivel de resiliencia dentro de los sistemas y permitir priorizar las necesidades en las etapas de prevención y recuperación para disminuir la vulnerabilidad. Mantener una interac-

ción óptima entre los componentes de un socio-ecosistema y un nivel de resiliencia favorable, es sin duda, clave para su sostenibilidad. Lograr conocer la dinámica de los socio-ecosistemas ante fenómenos naturales extremos, así como establecer estrategias de mitigación para contender contra los desastres que estos fenómenos generan resulta un gran reto no solamente para regresar a las condiciones previas sino también para mejorar estas condiciones. Definir mejor las estrategias de mitigación para fortalecer la resiliencia es complejo tanto por recursos administrativos, como por la incertidumbre, sobre consecuencias imprevistas ante eventos de desastre además de información incompleta o contradictoria acerca de las consecuencias que estos eventos generan (Cutter, 2013).

En un trabajo realizado sobre el Huracán Katrina en las costas del golfo de Mississippi, Carpenter (2015) señala que la frecuencia de desastres naturales, la creciente urbanización, la dependencia sobre las tecnologías y la infraestructura, así como las grandes expectativas de intervenciones como respuesta a las emergencias, son las responsables de una mayor vulnerabilidad y demuestran la necesidad de promover comunidades resilientes ante los desastres. También esta autora señala que las decisiones del sector privado al desarrollar de forma no sostenible el comercio de propiedades y debilidades en la gestión de zonas costeras están entre las causas del incremento de la vulnerabilidad y por lo tanto una pérdida de la resiliencia de estos sitios.

Lo que se sabe del tema

La resiliencia es un concepto que se encuentra directamente relacionado con los términos de vulnerabilidad y capacidad adaptativa (Holling, 1973; Adger *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2002), de acuerdo a Gallopin (2006) la vulnerabilidad se puede definir como el nivel en que un sistema es susceptible y no puede soportar eventos adversos, es un concepto formado por diversos componentes como son la sensibilidad, capacidad de respuesta, y exposición. La sensibilidad se define como el nivel en el que un sistema puede sufrir cambios que lo afectan positiva o negativamente, la exposición es “*la duración y / o el grado en que el sistema está en contacto con la perturbación*” y la capacidad de respuesta es un término en el que se pueden englobar tanto la capacidad adaptativa como la resiliencia, ya que como su nombre lo indica es la manera en la que el sistema responde para recuperarse o adaptarse a las nuevas condiciones (Dobzhansky, 1968; Gallopin *et al.*, 1989).

Diversos autores mencionan que resiliencia y vulnerabilidad son características que se encuentran entrelazadas por lo que para conocer o evaluar alguna de ellas se debería tener conocimiento de la otra, es importante reconocer que son características inversas, a mayor vulnerabilidad menor resiliencia y viceversa. Holling (1973) y Gallopin (2006) mencionan que la resiliencia tiene “*dominios de atracción*” en tanto el espacio sea dinámico, es decir, el sistema ya sea ecológico, social o socio-ecológico, se encuentra en un continuo cambio a través del tiempo, a estos cambios o variaciones se les conoce como trayectorias del sistema. Los dominios de atracción pueden estar conformados por varios “*atractores*” que puede entenderse como las variables

que interactúan en el sistema y en el que algunas poseen mayor variación que otras, sin embargo, tienen un punto de equilibrio en el cual se basa su estabilidad, si una trayectoria se aleja demasiado del punto de equilibrio debido a un evento perturbador, entonces pierde estabilidad y por lo tanto tiende a perder resiliencia.

Para establecer el nivel de resiliencia en un socio-ecosistema se ha sugerido el uso de indicadores, ya que es una herramienta empleada para conocer y valorar la condición de un hecho, así como su evolución y evaluación futura. Esta herramienta es empleada para estimar la capacidad del sistema de reponerse ante una perturbación. Para un socio-ecosistema estos indicadores incluyen, tanto factores sociales como ecológicos clave, que permitan reconocer como se responderá ante un disturbio. Sin embargo, es importante mencionar que la selección e integración de indicadores resulta complejo, por lo que no hay una metodología única para este tipo de análisis. Debido a esto podemos encontrar diversas propuestas para la selección de indicadores y la formulación de índices que permitan evaluar los componentes de la vulnerabilidad tanto en el ámbito social como ecológico (Cutter y Directo, 2008; Salazar, 2013; Salinas-Chávez *et al.*, 2013; Tejeda *et al.*, 2007; Bergamini *et al.*, 2013, de la Torre-Valdez y Sandoval-Godoy, 2015) de tal manera que al establecer el grado de resiliencia se puedan identificar los ámbitos en los que se deben tomar las acciones. En relación a lo anterior en este trabajo se ha adoptado establecer la vulnerabilidad como el indicador a desarrollar y determinar la resiliencia como el valor inverso, una alta vulnerabilidad implica una baja resiliencia.

Lo que no se sabe del tema

En la costa de Yucatán no encontramos antecedentes de estudios relacionados a los socio-ecosistemas costeros y su resiliencia a los huracanes. Sin embargo, existen estudios sobre la resiliencia de ecosistemas los cuales se han centrado en comunidades de manglar (McGroddy *et al.*, 2013; Cinco, 2016) y ecosistemas arrecifales en el Caribe (Ladd y Collado-Vides, 2013; Mumby *et al.*, 2014) así como estudios sobre resiliencia de pesquerías (Liguori, 2006; Salas *et al.*, 2011). La importancia de conocer el nivel de resiliencia de un socio-ecosistema

permite construir estrategias y acciones dirigidas a los pobladores para reducir la vulnerabilidad de sus comunidades y ecosistemas costeros. Acciones colectivas e individuales que procuren una protección de sus bienes y de los servicios del ecosistema, así como identificar las áreas en donde se requiere una mejor capacidad de respuesta y de acciones preventivas en los diferentes componentes del socio-ecosistema permitiendo establecer un equilibrio a largo plazo entre la comunidad asentada en las costas y su ambiente.

El problema(s) que se suscitan en este tema considerando los sectores que son afectados

La falta de conocimiento sobre la capacidad de respuesta de las comunidades costeras y de los recursos naturales para contender con eventos inciertos y extremos como los huracanes, limita la preparación y el diseño de medidas efectivas que los pobladores y las autoridades podrían establecer para mejorar la resiliencia y por consiguiente se agravan los problemas cuando ocurren estos fenómenos. Los problemas se presentan en aspectos de salud de los pobladores,

en restablecer las actividades económicas y para habilitar la funcionalidad de viviendas. Conocer las diferentes vulnerabilidades que se presentan en los aspectos sociales y económicos ligados a sus actividades principalmente pesquera y turística, así como del sistema natural permiten atender de forma precautoria aspectos clave de las necesidades de mejora y también para elegir y conducir las acciones de recuperación.

Los indicadores y alcances para poder monitorear el problema

Se utilizó un modelo de indicadores propuesto por Islam *et al.* (2014) basado en los niveles de exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta para determinar

el valor de un índice de vulnerabilidad en cada componente del socio-ecosistema (social, económico y ambiental) tomando como ejemplo el caso del huracán Isidore

en las costas del estado de Yucatán. Datos de otros huracanes fueron calculados de forma similar, pero solamente se utilizan como elementos de contraste en los apartados de lecciones y recomendaciones. El modelo propone estimar el valor del índice de la forma siguiente:

$$V = (E + S + (m - CR)) / 3$$

V= Vulnerabilidad

E=Exposición

S=Sensibilidad

CR= Capacidad de respuesta.

m= valor máximo asignado a los niveles de vulnerabilidad (en este caso 5)

Debido a que diversos indicadores se expresan en diferentes unidades, los valores o calificaciones para cada uno de los componentes se establecieron entre (1 y 5) para calificar condiciones entre *muy-bajo*, *bajo*, *medio*, *alto*, y *muy-alto*. Este modelo fue aplicado a cada uno de los componentes del socio- ecosistema (exposición, sensibilidad, capacidad de respuesta), y para obtener la vulnerabilidad total se promediaron los valores de vulnerabilidad en cada componente del socio- ecosistema.

Indicadores de exposición

La estandarización de los factores de exposición se asignaron de acuerdo a lo propuesto por Gornitz *et al.* (1994) en el índice de vulnerabilidad costera (tabla 1). A continuación en las tablas de indicadores los puntos marcados en negrillas corresponden a los valores del huracán Isidore

Indicadores de sensibilidad

Componente social

En el componente social y para considerar los daños a la vivienda, se utilizó el por-

centaje de viviendas con daño con calificaciones establecidas por el CENAPRED en el 2014 (tabla 2).

Para el costo económico en la recuperación de vivienda, se utilizó como indicador el costo del daño en miles de pesos obtenido de los informes oficiales lo cual corresponde a 15 millones de pesos, el nivel de sensibilidad fue estandarizado de acuerdo a la percepción de los entrevistados dando como resultado un valor de 4 que corresponde a un nivel alto (tabla 3).

Para la atención en materia de salud, la Accesibilidad a servicio de salud se estableció de acuerdo al porcentaje de habitantes no derechohabientes a los servicios de salud ofrecidos por el estado. Con datos reportados por el INEGI se obtuvo el número total de habitantes que no contaban con el servicio médico por lo que fue posible generar un valor estandarizado de acuerdo al porcentaje que se obtuvo en cada caso (tabla 4).

El suministro de energía eléctrica se estableció a través del número de días sin suministro de energía eléctrica. Para estandarizar este indicador se contó con los días que de acuerdo con los informes de daños el municipio permaneció sin el suministro de dicho servicio, durante las entrevistas se pidió a los entrevistados que de acuerdo a su percepción del tiempo que no contaron con energía eléctrica le asignaran un valor, de acuerdo a los niveles ya mencionados. De forma similar se procedió para los servicios de agua potable, como resultado se obtuvo un valor de sensibilidad 4.33 (alto) para un total de 60 días. sin energía eléctrica (tabla 5).

Tabla 1. Variables del índice de vulnerabilidad costera para el indicador de exposición. (Modificado de <https://pubs.usgs.gov>).

Exposición/ Variables	Muy Bajo 1	Bajo 2	Medio 3	Alto 4	Muy Alto 5
Elevación del terreno.	≥30.0	20.1-30	10.1-20	5.1-10.0	0-5.0
Geología.	Plutónico Volcánico Alto a medio grado metamórfico.	Bajo grado metamórfico Conglomerados.	Rocas sedimentarias.	Sedimentos no consolidados gruesos.	Sedimentos no consolidados finos. Roca volcánica.
Geomorfología.	Costa rocosa. Acantilados. Fiordos.	Acantilados medios.	Glaciares. Acantilados. Llanuras.	Playas de adoquines, estuarios, lagunas	Playas arenosas Isla de barrera. Marismas. Manglares. Arrecifes de coral.
Porcentaje anual de ocurrencia de huracanes.	0.4-0	4.31-8	8.1-11.9	12.0	12.1-16
Marea de Tormenta (m).	0-0.2	2.1-4.0	4.1-6.0	6.1-7	>7.0
Velocidad del viento (Km/hr).	119-153	154-177	178-210	211-250	>250
Precipitación (mm).	0-20	20-79	80-129	130-240	>250

Tabla 2. Estandarización de porcentaje de viviendas dañadas (CENAPRED, 2014).

Porcentaje de vivienda con daño	Valor estandarizado	Nivel de sensibilidad
0-19	1	Muy bajo
20-39	2	Bajo
40-59	3	Medio
60-79	4	Alto
80-100	5	Muy Alto

Tabla 3. Estandarización para daño a vivienda.

Miles de pesos	Valor estandarizado	Nivel de sensibilidad
< 1000	1	Muy bajo
1 001- 3 000	2	Bajo
3 001- 11,000	3	Medio
11 001- 15 000	4	Alto
> 15 000	5	Muy Alto

Tabla 4. Estandarización de porcentaje de habitantes no derecho habientes (CENEPRED, 2014).

Porcentaje sin afiliación	Valor estandarizado	Nivel de sensibilidad
0-19	1	Muy bajo
20-39	2	Bajo
40-59	3	Medio
60-79	4	Alto
80-100	5	Muy Alto

Tabla 5. Resultado de entrevista a actores principales estandarización de días sin suministro de energía eléctrica.

Actores involucrados	Nivel de sensibilidad	Valor estandarizado	Resultado
Protección Civil.	Muy Alto	5	4.33
Preidencia Municipal.	Alto	4	
Capitania de Puerto.	Alto	4	

Componente económico

La estandarización en los niveles establecidos se obtuvo en las entrevistas realizadas para la magnitud del cambio en la captura de langosta, el costo económico de daño a infraestructura pesquera, y el costo del daño al equipo de pesca, encontrando que el componente económico mostró un nivel de sensibilidad de 3.33 que corresponde a un nivel medio (tabla 6).

Componente ecológico

El componente ecológico se centró a cambios que ocurren en el hábitat de las especies que se aprovechan, en particular la magnitud del cambio de transparencia en la columna de agua que limita la llegada de luz a los fondos marinos. Para estimar los cambios en transparencia del agua, se utilizaron imágenes Landsat 7 obtenidas de earthexplorer.usgs.gov de varias fechas, desde

diciembre de 2001 hasta marzo de 2006. El índice de turbidez propuesto por Barret et al (2016) resulta de la división de la banda 3 entre la 5 (tabla 7). Se hicieron las correcciones atmosféricas y de los valores del índice de turbidez del mismo transecto en las diferentes fechas se obtuvo, el mínimo y el máximo permitiendo crear 5 intervalos a los cuales se asignó un valor entre 1 y 5 todo esto mediante el software TNTmips de Microimage®.

Otro indicador es la magnitud del cambio del fondo marino y se determinó de la percepción de los pescadores de las cooperativas locales con respecto a la magnitud del deterioro que observaron en el fondo marino como azolvamiento de refugios y pérdida de vegetación obteniendo un valor estandarizado de sensibilidad de 3 correspondiente a medio. El valor proviene de la opinión del Presidente, Secretario, Tesorero

Tabla 6. Nivel de sensibilidad en componente económico.

Indicadores	Nivel de sensibilidad	Valor estandarizado	Resultado
Magnitud de cambio en captura	3.25	Medio	
Costo económico de daño a infraestructura	3.5	Medio	3.33
Costo de Daño al equipo de pesca	3.25	Medio	

Tabla 7. Estandarización de magnitud del cambio de transparencia.

Índice de turbidez	Valor estandarizado	Nivel de sensibilidad
1.33-1.82	1	Muy bajo
1.83-2.32	2	Bajo
2.33- 2.82	3	Medio
2.83-3.32	4	Alto
3.33-3.83	5	Muy Alto

y expresidente de la cooperativa pesquera quienes le asignaron un valor medio de sensibilidad.

De acuerdo con (Ehrhardt 2005; Buesa, 2011) en eventos hidrometeorológicos extremos las langostas tienden a migrar a sitios con mayor salinidad debido a que la precipitación tiene como efecto un cambio en ésta, por lo que decidió emplear la precipitación como un proxy de la presencia y/o disponibilidad del recurso. Para asignar un valor a este indicador se empleó nuevamente lo descrito por Gornitz *et. al.* (1994) para la precipitación (tabla1), identificando una precipitación de 240 mm lo cual le asigna un valor de 4 (alto).

Indicadores de capacidad de respuesta

Componente social

Se consideró el monto de los apoyos proporcionado por el FONDEN y por FONAPHO para recuperación de vivienda y los datos

de los montos que se otorgaron a los pobladores del Fondo Nacional de Desastres, ambos apoyos fueron percibidos como muy bajos durante las entrevistas y estandarizadas en los niveles establecidos con el valor de 1.

El acceso al trabajo se determinó con el porcentaje de población ocupada. El porcentaje fue obtenido de los censos económicos y conteos de INEGI (2014) que estaban disponibles al momento de realizar este estudio con un valor de 58.567 %, para su estandarización se utilizó una tabla similar a la de daño a vivienda recibiendo el valor de 3 o Medio.

El nivel de marginación de la comunidad se obtuvo de las bases de datos de CONAPO (2016), dicho indicador tiene asignadas las mismas categorías que las utilizadas en este estudio por lo que los valores fueron asignados directamente. Para esta comunidad el valor reportado es de 3 o Medio.

El Nivel de participación ciudadana se determinó con información sobre el invo-

lucramiento de los habitantes para organizar y participar de forma colectiva, se obtuvo directamente de las entrevistas realizadas en campo y para su estandarización se utilizaron los niveles establecidos previamente. El resultado obtenido fue de 4.67 para una estimación Alta.

Componente económico

La capacidad de respuesta en los aspectos económicos se estimó con los ingresos de la cooperativa de acuerdo al Valor anual por captura de langosta. Datos del valor anual de la captura de langosta desde 2002 hasta 2014 fueron obtenidos de las bases de datos de la CONAPESCA (2017), lo cual permitió obtener las anomalías y posteriormente determinar el rango entre el valor mínimo y máximo para dividirlo en 5 intervalos, lo cual permitió localizar el valor que se obtuvo en los años de los huracanes dentro de los valores de estandarización establecidos. Los resultados arrojaron un valor de la captura de \$2 996 00.00 pesos para un valor estandarizado de 2 o Bajo.

Otros apoyos fueron proporcionados por la SAGARPA-CONAPESCA a través de préstamos bancarios. Los indicadores relacionados con los apoyos económicos fueron estandarizados de acuerdo al nivel de importancia que percibieron los beneficiados de estos préstamos. El valor total de los apoyos fue de 1 029 miles de pesos para un valor estandarizado de 1 Muy Bajo.

El tiempo para reanudar actividades se estandarizó bajo la perspectiva de los entrevistados en relación al tiempo de inactividad de la cooperativa pesquera que fue de 60 días y a la cual le asignaron el valor de 1 Muy Alto.

Componente ecológico

La recuperación del hábitat a través del tiempo de recuperación de transparencia se determinó con los valores obtenidos del índice de turbidez de imágenes Landsat 7 obtenidas de earthexplorer.usgs.gov de varias fechas, desde diciembre de 2001 hasta marzo de 2006 lo que permitió estimar el tiempo que tardó la columna de agua en recuperar su transparencia después de cada huracán. Para su estandarización se le asignó el valor de menor capacidad de respuesta al evento que más tiempo tardó en recuperarse (tabla 8).

Para la recuperación de las coberturas del fondo marino, se empleó la percepción de pescadores de la cooperativa con respecto al tiempo que observaron tardó el fondo marino en recuperarse. En cada evento de huracán los valores estandarizados se obtuvieron directamente de lo colectado en las entrevistas. El resultado fue de 2 o Bajo.

Estimación de Vulnerabilidad y Resiliencia

Obtenidos los valores estandarizados para cada uno de los indicadores estos fueron promediados para exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta para cada uno de los componentes del socio-ecosistema. La resiliencia estimada como el complemento de la vulnerabilidad (figuras 1 a 4).

Tabla 8. estandarización de tiempo de recuperación de transparencia.

Meses	Valor estandarizado	Nivel de capacidad de respuesta
>5	1	Muy bajo
4	2	Bajo
3	3	Medio
2	4	Alto
1	5	Muy Alto

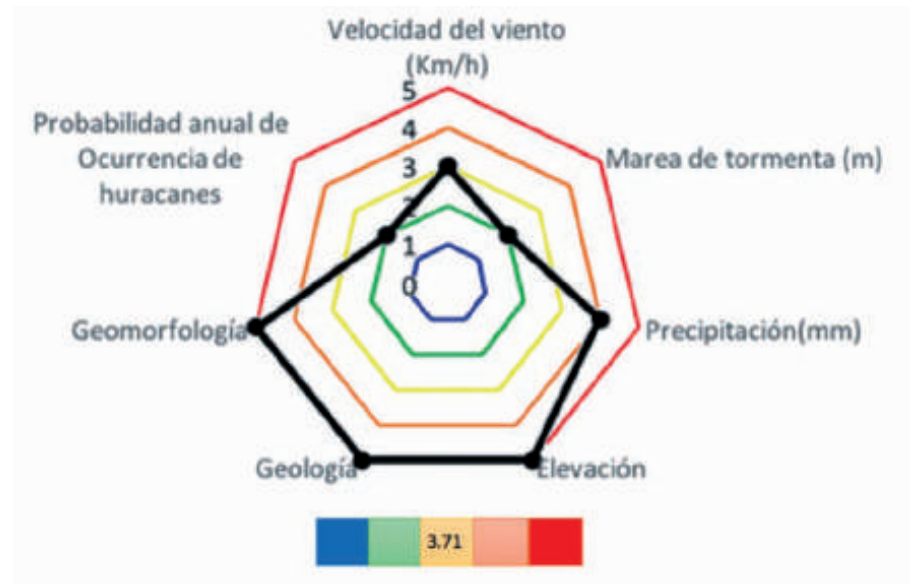


Figura 1. Nivel de exposición ante un huracán de categoría 3.

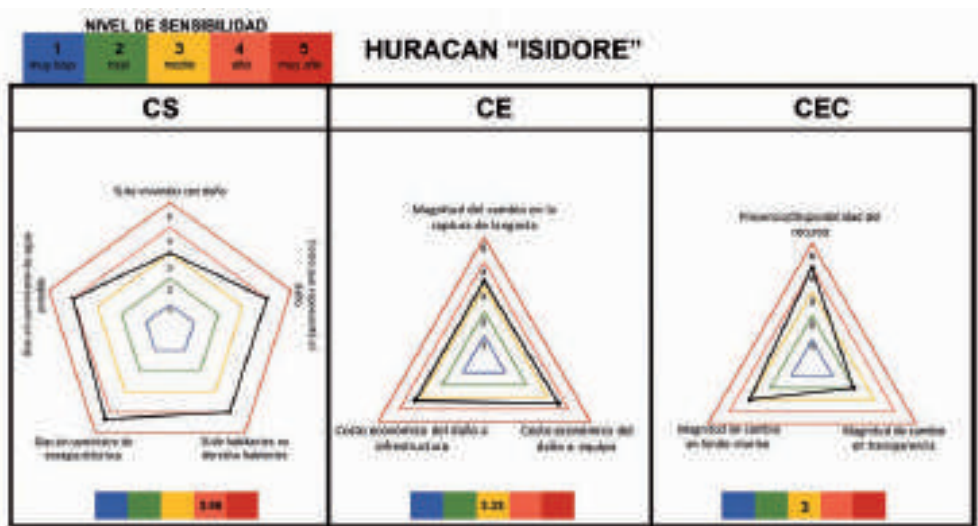


Figura 2. Nivel de sensibilidad ante huracanes categoría 3 por componente del socio-ecosistema para el escenario base. CS=Componente social, CE= Componente económico, CEC= Componente ecológico.

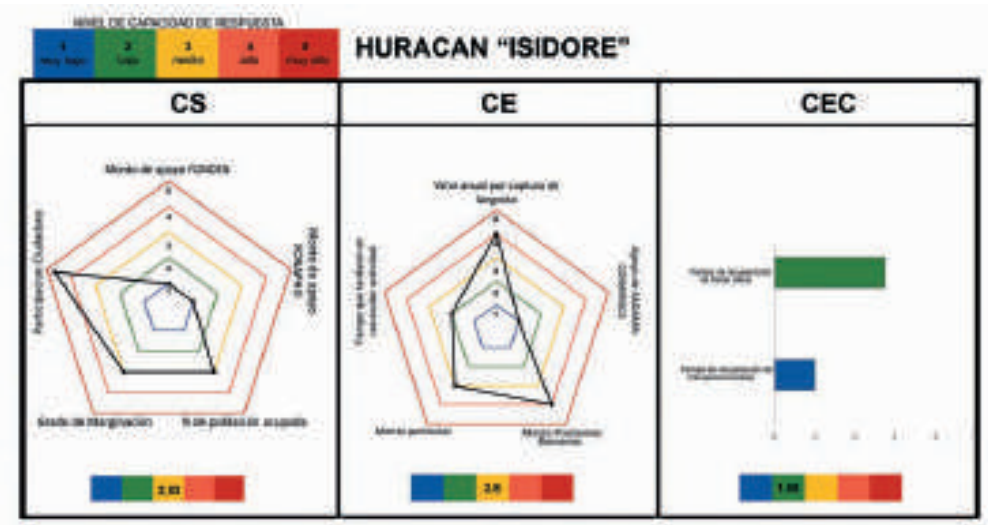


Figura 3. Nivel de capacidad de respuesta por cada componente del socio -ecosistema, ante huracanes categoría 3 en el escenario base. CS=Componente social, CE= Componente económico, CEC= Componente ecológico.

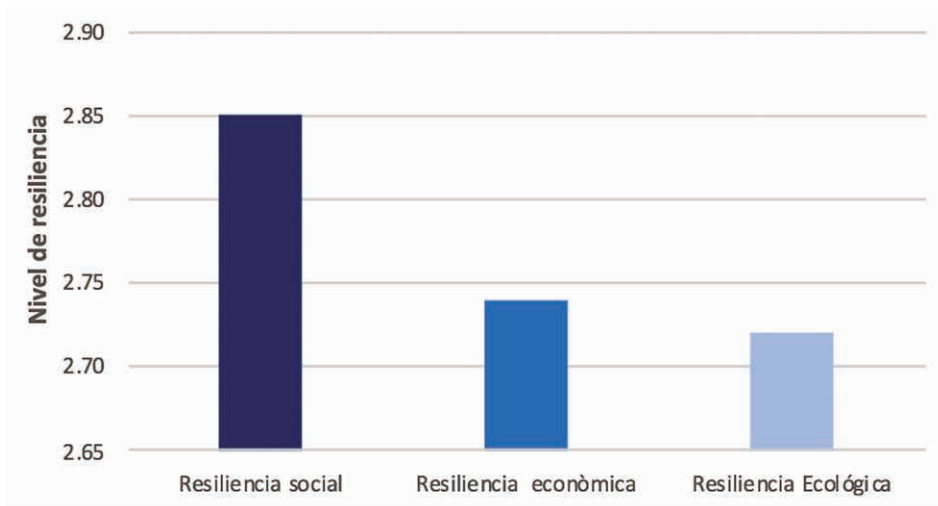


Figura 4. Resiliencia por en cada uno de los componentes social, económico y ecológico en una escala con máximo de 5.

Las lecciones aprendidas (y/o reportadas en la literatura)

Componente social

Los costos asociados a los daños en las viviendas, así como los daños en los servicios como el suministro de energía eléctrica y de agua potable son una seria limitante para la resiliencia del componente social. Los servicios de agua y electricidad son los que más afectan a la población después del paso de un huracán ya que inevitablemente deben suspenderse con la finalidad de prevenir accidentes. El tiempo de restablecimiento de dichos servicios para el caso del huracán Isidore con categoría 3 fue de casi un mes, dificultando las actividades cotidianas de los habitantes y común en estos casos.

Situaciones similares se han documentado, como en Loaiza (Puerto Rico), donde la salud de los habitantes se vio severamente afectada al no disponer de agua limpia, electricidad y sistemas de limpieza adecuados colocando la salud de los residentes en riesgo y provocando enfermedades, principalmente gastrointestinales y respiratorias (Maldonado, 2009). Para el caso de Dzilam de Bravo, el sector salud y algunos reportes, documentaron estos casos, que también fueron registrados para Chabihau y Yobain poblaciones en Yucatán durante el huracán “Isidore” (Guzmán y Rodríguez, 2016). En Chiapas con el paso del huracán “Stan” casos similares fueron reportados (Oswald, 2012). Cutter y Directo (2008) mencionan que en localidades donde se carecen de recursos económicos y poseen altos grados de marginación la infraestructura pública como los son la distribución de agua potable, servicio eléctrico y carreteras son los principales factores de vulnerabilidad.

De acuerdo con CONAPO, Dzilam de Bravo en el año 2016 se encontraba en un

grado de marginación medio, esta condición no ha cambiado desde 2002 lo cual podría indicar que las carencias de este municipio siguen siendo las mismas y por consecuencia su vulnerabilidad no ha disminuido con el tiempo. Westerman *et al.* (2013) indica que en una comunidad con carencias económicas la vulnerabilidad aumenta por lo tanto su resiliencia disminuye dificultando su adaptación ante eventos de desastre como los huracanes.

En el caso de la sensibilidad de este componente, se identificó que han mejorado las condiciones del sector salud ya que la mayoría de habitantes son derechohabientes lo cual facilita el acceso al servicio médico. Otro factor identificado que aun cuando la información oficial indica una disminución en el porcentaje de población ocupada en la pesca, en comunicación personal con expertos en el sector pesquero indican que continúan aumentando el número de empleos de forma temporal y que provienen de otros municipios e incluso otros estados.

Los factores que limitan la resiliencia social están asociados a la dificultad que los habitantes enfrentan durante la restauración de servicios públicos, debido a que la respuesta por parte de las autoridades ha sido lenta. Se observó un proceso de diversificación de servicios relacionados al turismo no incluidas en este trabajo.

Componente económico

Considera la actividad pesquera, específicamente la pesca de langosta concesionada actualmente a dos cooperativas en Dzilam de Bravo (en 2005 había una sola cooperativa). La importancia de la pesca de este recurso radica en la alta demanda y el valor

que este puede llegar a alcanzar y generar altos ingresos. Las pesquerías en general son una actividad económica vulnerable ante eventos de desastres naturales como los huracanes, pues las variaciones que se generan dentro del ecosistema después de un evento de este tipo condicionan la disponibilidad del recurso, además de las severas afectaciones que pueden recibir la infraestructura y equipo (Pérez, 2014). En general para el socio-ecosistema los resultados muestran que el componente económico es el más vulnerable al estar estrechamente ligado a las afectaciones del componente social y ecológico con consecuencias directas e indirectas. Un ejemplo, son los daños en el componente ecológico que influyen en la captura del recurso así como los daños en infraestructura y equipo que dificultan llevar a cabo la actividad.

Los entrevistados mencionaron que una de las razones por las que su equipo resultó menos afectado durante los huracanes “Wilma” y “Emily” es porque han mejorado su estrategia de resguardo para su equipo, situación que no sucedió con “Isidore”, donde tanto la magnitud del cambio en capturas, así como el daño a la infraestructura y equipo fue mayor debido a que el nivel de exposición fue mayor.

Frausto *et al.* (2016) resaltan que en el estudio de la resiliencia por medio de indicadores, es importante no limitar el análisis y construcción de un escenario futuro solo con lo obtenido en los indicadores tradicionales, es indispensable incluir el aprendizaje social, por lo que bajo esa premisa podría esperarse que en un escenario potencial expuesto a un huracán categoría 3 la mejora en las estrategias de resguardo eviten la numerosa pérdida de equipos

La disminución en la captura atribuido a la pérdida de equipo, y la disminución

coinciden con lo reportado por Culburn *et al.* (2015) en un estudio realizado en New Jersey para evaluar los impactos socio-económicos después del huracán “Sandy” donde se menciona que en una actividad económica como la pesca, la cual se encuentra frecuentemente expuesta ante huracanes, es difícil definir la medida o magnitud de los cambios en la captura, pues estos pueden deberse a impactos directos sobre el recurso, su hábitat o la disminución en la actividad pesquera o afectaciones en muelles, embarcaciones y/o equipos.

En ese sentido los entrevistados también aseguraron que en el caso de los huracanes “Emily” y “Wilma” de categoría 1 y 2 el problema no fue la pérdida de equipos, ya que su estrategia de resguardo fue más eficiente, y su tiempo de reactivación fue de una semana, sin embargo, para el caso de la pesquería de langosta el problema en 2005 fue que, al darse los huracanes con poco tiempo de diferencia, la recuperación del hábitat requirió de aproximadamente siete meses en volver a su estado normal lo que impactó significativamente la pesca.

Con el huracán Isidore la pérdida y daño de equipo e infraestructura requirió de aproximadamente dos meses para habilitarlos, incluso documentos personales importantes se perdieron generando gastos extras.

Una situación similar es reportada en dos comunidades pesqueras en Luisiana afectadas por el huracán Katrina donde las actividades se suspendieron por una larga temporada, debido a que los equipos se recuperaron un año después, generando grandes pérdidas para el sector pesquero y afectando a la comunidad en general ya que sus ingresos dependían prioritariamente de esta actividad, (Ingles, 2008).

En el caso de Dzilam de Bravo al menos el 50 % de la población ocupada (INEGI,

2014), se dedica a la pesca, siendo esta la principal actividad económica del municipio. Frenar esta actividad tiene gran impacto en los ingresos de los habitantes, por lo que resulta importante considerar que debido a las condiciones ambientales actuales, donde eventos de desastre de este tipo se esperaran con mayor frecuencia, la actividad pesquera considerada también como un medio de subsistencia (autoconsumo) se incrementa la vulnerabilidad (Allison *et al.*, 2005).

Los actores clave de este sector entrevistados mencionaron que los apoyos SAGARPA –CONAPESCA están en un nivel muy bajo para cubrir los daños a las cooperativas pesqueras en cualquiera de las tres categorías de huracán. Esto se puede considerar como bajo o limitado dentro de los indicadores de capacidad de respuesta. Se encontró que, aunque las instancias gubernamentales aportaron un monto de ayuda para reponer equipo, los actores clave de este sector mencionaron que dicha ayuda no fue suficiente, dado que la mayoría de los apoyos se centró en los préstamos por medio de bancos, y la medida generó deudas para la cooperativa y dificultando la recuperación económica.

Casos similares fueron reportados en otros municipios del Estado como San Felipe y Celestún donde los apoyos gubernamentales no fueron suficientes (Soares y Peña, 2005). Otro factor que limita la capacidad de respuesta son los actuales ingresos que genera la actividad pesquera pues para el caso específico de repetirse un huracán similar a Isidore los entrevistados mencionaron que ninguna de las dos cooperativas sola sería capaz de afrontar daños. Mencionaron que la pesca en general está pasando por una situación económica complicada debido a los bajos volúmenes

de captura que nos son suficientes para generar un monto particular de ahorro para este tipo de situaciones.

A lo largo del tiempo el sector pesquero ha logrado adaptarse y superar este tipo de situaciones. Sin embargo, hay que recordar que como consecuencia del cambio climático se espera que los eventos de huracanes se incrementen en intensidad y frecuencia lo cual deja al sector pesquero más expuesto, aunado a las dificultades actuales que el sector ya presenta, como las fluctuaciones en la abundancia de los recursos, la pérdida de acceso a los mismos por el establecimiento de zonas de exclusión, las variaciones en los mercados, los conflictos sociales, la marginalización y la deficiente gobernanza en este sector (Allison, 2009).

Este trabajo se centró únicamente en la pesca de la langosta para la evaluación de la actividad económica, sin embargo, suelen aprovecharse otras especies, los entrevistados mencionaron que uno de los recursos que más abunda después del paso de un huracán es el pulpo por lo que es el recurso que suele aprovecharse en estos casos.

Componente ecológico

Evaluar la resiliencia en el ámbito ecológico dentro de un socio-ecosistema resulta complejo debido al gran número de interacciones y la cuantificación de los efectos que eventos naturales de la magnitud de los huracanes generan en el ecosistema.

En la selección de indicadores, la literatura sugiere contemplar los cambios en parámetros físico-químicos como salinidad, pH, temperatura, materia orgánica, transparencia de la columna de agua, cambios en la estructura del hábitat, desplazamiento de los organismos entre otros, así como el tiempo que tardaron en recuperarse.

Antecedentes de daños por huracanes al ecosistema es limitada, datos a un nivel adecuado de detalle solo se encontraron para el huracán “Isidore”. Los resultados mostraron que dentro del componente ecológico un factor limitante es la baja presencia/disponibilidad del recurso pesquero. Como fue explicado anteriormente, en diversos trabajos se menciona que las langostas tienden a emigrar a aguas más profundas ante la llegada de los huracanes pues la excesiva precipitación tiene efectos sobre la salinidad y temperatura en la columna de agua alterando el hábitat de estos organismos por lo que se desplazan a sitios con condiciones más aptas (Buesa y Mota-Alves, 1970; Jury *et al.*, 1995; Ehrhardt, 2005; Buesa, 2011).

De acuerdo con los entrevistados la turbidez también dificulta la pesca no solo en el caso de la langosta sino también de otras especies. Por otra parte, los entrevistados también mencionaron que meses posteriores a los huracanes identificaron bajas en las capturas de langostas, y aunque al analizar el comportamiento de las capturas pesqueras para Dzilam de Bravo de 2002 a 2014 no se encontró un patrón que definiera este cambio al paso de estos eventos. Existen trabajos que reportan caídas en la pesca de langosta un año después a un episodio de huracán. Buesa (2011) reporta haber encontrado este comportamiento en el mar caribe, explicando que la causa de las disminuciones en las capturas puede ser el resultado de la mezcla de capas de agua que sucede con el paso de los huracanes, lo cual remueve la larvas que se encuentran a grandes profundidades redistribuyéndolas a sitios donde su alimento es escaso y el riesgo de depredación aumenta reduciendo finalmente el número de reclutas lo cual se ve reflejado al año posterior.

Otra razón que puede explicar la escasa captura de langosta posterior a un huracán es el hecho de que los estadios post-larval iniciales (puerulus) se encuentran generalmente en sitios como los manglares, de tal manera que si estos quedan destruidos con el paso de estas tormentas la supervivencia de tales estadios se ve reducida y finalmente se refleja en las capturas (Buesa, 2011; Ríos-Lara y Salas, 2009; Ríos-Lara *et al.*, 2011). Al respecto los entrevistados reconocieron un cambio importante en los fondos especialmente en el caso del huracán Isidore pues mencionaron que en esta ocasión el fondo sufrió un cambio casi en su totalidad ya que desaparecieron una gran parte de los pastos marinos y los sitios donde suelen refugiarse las langostas fueron cubiertos de sedimento modificando por completo el hábitat. Si bien, las condiciones de salinidad, temperatura y transparencia volvieron a sus condiciones normales, (Daw *et al.*, 2009) menciona que el cambio en los fondos requiere un mayor tiempo de recuperación y puede causar una modificación en las zonas de distribución del recurso.

Los resultados de los tres componentes (social, económico y ecológico) mostraron que el socio-ecosistema costero de Dzilam de Bravo se encuentra dentro de un nivel medio de resiliencia es decir, tiene la capacidad de recuperarse. Al mismo tiempo se identificaron factores que están limitando la capacidad adaptativa, que de mejorarse podría elevar el nivel de resiliencia ante los diferentes niveles de exposición y alargar su sostenibilidad.

Estos factores de vulnerabilidad del socio-ecosistema costero de Dzilam de Bravo, al igual que en otros sitios, están relacionados con aspectos sociales ya que no existe un vínculo sólido entre los diferentes niveles de gobierno y los habitantes. Marvi

et al. (2012) menciona que dentro de las características de una comunidad resiliente el primer punto es que se tomen medidas para anticiparse a los desastres, como lo son los sistemas de alerta temprana y preparación para mitigar su impacto, de este modo las actividades previas al evento son fundamentales.

De acuerdo con los datos obtenidos durante las entrevistas, de forma generalizada expresaron que las estrategias de alerta han mejorado con el tiempo y que aprendieron de la experiencia con el huracán “Isidore” por lo que actualmente hay un mejor nivel de participación ciudadana. A pesar de estos planteamientos, en el aspecto de prevención expresaron principalmente dos inquietudes, en primer lugar, aseguran que, aunque la voluntad participativa es alta, las autoridades municipales no permiten que se involucren demasiado en el aspecto preventivo, y en segundo lugar expresan inquietud e inseguridad ante la falta de capacitación en materia de protección civil.

Oportunidades de mejora se abren en la capacitación de los encargados de protección civil y un mayor acercamiento entre los habitantes y los representantes municipales. Un ejemplo de buenos resultados es el municipio de San Felipe, Yucatán, donde existe un mayor acercamiento entre autoridades y la población, así como la recurrente capacitación ha logrado generar programas apropiados de trabajo lo que ha favorecido que San Felipe sea de los municipios que más rápido se repone tras el paso de este tipo de eventos (Soares y Peña, 2015). Es de reconocer que los habitantes de Dzilam de Bravo han tenido la iniciativa de mejorar estrategias preventivas con la finalidad de proteger su patrimonio, pues los entrevistados mencionaron que han hecho adaptaciones basadas en su experiencia con

otros huracanes. Entre estas adaptaciones se encuentra el cubrir de loseta las fachadas de las casas, pisos y la mitad de la pared en el interior de la vivienda, lo cual evita en alguna medida el deterioro de la estructura de la vivienda con las inundaciones que traen consigo tanto huracanes como tormentas tropicales, dicha medida también fue adoptada en la escuela primaria del municipio donde también recientemente se adquirió mobiliario totalmente de plástico lo cual disminuirá su deterioro durante las inundaciones.

Los servicios de energía eléctrica y agua potable requieren de una mayor atención ya que, se reportó que los recursos primero son enviados a las grandes áreas urbanas, señalando la necesidad de buscar mecanismos para garantizar un restablecimiento rápido. Por ejemplo en el caso del huracán “Wilma” en 2005 en la zona de la Riviera Maya el gobierno, así como algunas empresas, proporcionaron maquinaria y equipo para reparar caminos, y restablecer la energía eléctrica y la telefonía, distribuir víveres y agua potable antes de que el huracán tocara tierra lo cual permitió un rápido periodo de recuperación y aunque en este sitio el huracán tocó como categoría 5 y la destrucción a la infraestructura fue enorme el tiempo de recuperación de los servicios básicos fue corto (Oswald, 2012).

En este componente la principal problemática proviene de que actualmente la pesca no se encuentra en las mejores condiciones económicas, esto como resultado de que sus capturas son muy inestables y mencionaron que esta situación en el caso específico de la langosta es más preocupante pues año con año ven reducidas las capturas y desde su percepción esto es efecto de los daños que el ecosistema ha sufrido a través del tiempo.

Esta situación representa una problemática en el equilibrio del socio ecosistema pues, aunque actualmente cuenta con cierto nivel de resiliencia la fragilidad en el ecosistema y la falta de estrategias adaptativas en la actividad económica podrían terminar colapsando el socio-ecosistema.

Para fortalecer la resiliencia dentro de un socio-ecosistema es importante el comprender que este se encuentra sujeto a un ciclo adaptativo, en su mayoría los sistemas son dinámicos de tal modo que tienden a

cambiar con el tiempo atravesando generalmente por cuatro fases: crecimiento, mantenimiento, colapso y reorganización. Identificar en este ciclo la posición en la que se encuentra el sistema es importante ya que permite definir el momento indicado de intervención (Holling, 2003; Resilience Alliance, 2010). En este contexto puede decirse de no tomarse medidas preventivas y adaptativas el socio-ecosistema podría estar cercano a la fase de colapso.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

- Reforzar la capacidad de respuesta con un sistema de alerta efectivo y con mecanismos que permitan el resguardo de bienes y equipos tanto en el hogar como los implementos utilizados en las actividades productivas o de servicios.
- Alentar el ahorro para solventar los gastos de las reparaciones, pérdidas y requerimientos de alimentación para transitar el restablecimiento de las actividades. Algunos autores sugieren un esquema de ahorro para el hogar 10 % para el pago de deuda, (en caso de que se genere), 20 % para el ahorro y 70 % para los gastos diarios.
- Implementar a través de grupos organizados o de las cooperativas alternativas a los préstamos como podría ser cajas de ahorro o el pago de seguros colectivos.
- Fomentar o mantener la cohesión de la población a través de programas anuales de información para recordar estos episodios que permita facilitar el apoyo solidario.
- Hacer efectiva la planeación territorial de tal manera que se evite nuevos asentamientos y el crecimiento urbano en zonas costeras de alto riesgo.
- Crear conciencia sobre la explotación de recursos y la importancia de respetar las vedas y tallas para la sostenibilidad de esta actividad económica.
- Fomentar mejoras para el cuidado de bienes y de propiedades para reducir la fragilidad, tal como procurar las protecciones naturales del ecosistema, impermeabilización de fachadas e interiores, y protección a las embarcaciones y motores en sitios elevados.
- Fomentar el trabajo en equipo, establecer compromiso de instituciones locales, entender la necesidad y problemática por parte de la comunidad, elaborar y aplicar de forma rigurosa reglamentos de construcción y ordenamiento territorial, proteger ecosistemas y zonas naturales de amortiguamiento así como mantener programas educativos y de capacitación para fortalecer la prevención y reducir los riesgos ante desastres (Resilience Alliance, 2010; Marvi, 2012; Invemar *et al.*, 2014).

- Fomentar actividades económicas alternativas, sitios costeros que han enfrentado una problemática similar han optado por el turismo sostenible como estrategia en la búsqueda de resiliencia y sostenibilidad, sin embargo, es importante entender que la interacción de sectores y niveles de gobierno es la clave para que la reorganización dentro del ciclo adaptativo sea funcional. Marvi *et al.* (2012) sugieren que la estrategia más apta para el fortalecimiento de resi-

liencia y el desarrollo sostenible es la diversificación de actividades económicas locales, lo cual permite el mejoramiento de las condiciones económicas de los habitantes ofreciendo nuevas oportunidades de empleo y dando un “descanso” al recurso que está siendo explotado, si la economía del sistema se encuentra en óptimas condiciones este tendrá la posibilidad de contender de mejor manera ante eventos de desastre como los huracanes.

Literatura citada

- Adger, W. N., T.P. Hughes, C. Folke, S.R. Carpenter, y J. Rockström, 2005. Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309(5737), 1036-1039.
- Allison, E.H., W.N. Adger, M.-C. Badjeck, K. Brown, D. Conway, N.K. Dulvy, A. Halls, A. Perry, y J.D. Reynolds, 2005. Effects of climate change on the sustainability of capture and enhancement fisheries important to the poor: analysis of the vulnerability and adaptability of fisher folk living in poverty. London, Fisheries Management Science Programme MRAG/DFID, Project no. R4778J. Final technical report. 164.
- Allison, E. H., A.L. Perry, M.C. Badjeck, W. Neil Adger, K. Brown, D. Conway, y N.K. Dulvy, 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and fisheries*, 10(2): 173-196.
- Bergamini, N., R.A. Blasiak, y P.B. Eyzaguirre, 2013. Indicators of Resilience in Socio-ecological Production Landscapes. United Nations University Institute of Advanced Studies.
- Buesa, R.J., y M.I. Mota-Alves, 1970. Escala de colores para el estudio del ciclo reproductor de la langosta *P. argus* (Latrielle) en el área del mar Caribe. *FAO Fisheries Report* 71(2): 9-12.
- Buesa, R. J., 2011. Hurricanes and the Caribbean Spiny Lobster (*Parulirus argus*) Fisheries. Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute. p. 430-437.
- Carpenter, A., (2015). Resilience in the social and physical realms: Lessons from the Gulf Coast. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14: 290-301.
- Cinco, S., 2016. Índice de vulnerabilidad de los ecosistemas de manglar ante los efectos del cambio climático: caso Península de Yucatán. (Tesis de maestría). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Mérida, Yucatán.
- CENAPRED, 2002. Informe de actividades. MEXICO: SEGOB. Recuperado de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Transparencia/Informes/Informe-2002.pdf>.
- CENAPRED, 2014. Ciclones tropicales. Serie fascículos. Recuperado de <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/5-FASC-CULOCICLONESTROPICALES.PDF>.
- CONAPO, 2016. Índice de marginación por entidad federativa y por municipio. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indice-de-marginacion-por-entidad-federativa-y-municipio-2015>.
- CONAPESCA, 2017. [Información estadística por especie por entidad]. Recuperado de http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion_estadistica_por_especie_y_entidad.
- Colburn, L. L., P.M. Clay, P.T. Seara, C. Weng, y A. Silva, 2015. Social and Economic Impacts of Hurricane/Post Tropical Cyclone Sandy on the Commercial and Recreational Fishing Industries: New York and New Jersey One Year

- Later. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.
- Cutter, S. L., y H. Directo, 2008. A framework for measuring coastal hazard resilience in New Jersey communities. White Paper for the Urban Coast Institute.
- Cutter, S. L., 2013. Building disaster resilience: steps toward sustainability. *Challenges in Sustainability*, 1(2): 72.
- Cutter, S. L., K.D. Ash, y C.T. Emrich, 2014. The geographies of community disaster resilience. *Global Environmental Change*, 29: 65-77.
- Daw, T., w.N. Adger, K. Brown, y M.C. Badjcek, 2009. El cambio climático y la pesca de captura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación. Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos, *FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura*, (530): 119-168.
- De La Torre-Valdez, H. C., y S.A. Sandoval-Godoy, 2015. Resiliencia socio-ecológica de las comunidades ribereñas en la zona Kino-Tastiota del Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 23(1): 53-71.
- Dobzhansky, T., 1968. Adaptness and fitness. p. 109-121 In: Lewontin, R.C. (Ed.), *Population Biology and Evolution*. Syracuse Univ. Press, Syracuse, New York.
- Ehrhardt, N.M., 2005. Population dynamic characteristics and sustainability mechanisms in key Western Central Atlantic spiny lobster, *Panulirus argus*, fisheries. *Bulletin Marine Science* 76(2): 501-525.
- Folke, C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson, y C.S. Holling, 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 557-581.
- Folke, C., 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global environmental Change*, 16(3): 253-267.
- Frausto, O., A. Vázquez, L. Arroyo, L. Castillo, y M. Hernández, 2016. Hurricane Resilience Indicators In Mexican Caribbean Coastal Cities. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 6(4): 755-763.
- Gallopín, G. C., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change*, 16(3): 293-303.
- Gallopín, G.C., P. Gutman, y H. Maletta, 1989. Global impoverishment, sustainable development and the environment. A conceptual approach. *International Social Science Journal*, 121: 375-397.
- Gornitz, V.M., R.C. Daniels, T.W. White, y K.R. Birdwell, 1994. The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the US Southeast. *Journal of Coastal Research*, 327-338.
- Gunderson, L. H., 2000. Ecological resilience--in theory and application. *Annual review of Ecology and Systematics*, 425-439.
- Guzmán Noh, G., y J.M. Rodríguez Esteves, 2016. Elementos de la vulnerabilidad ante huracanes. Impacto del huracán Isidoro en Chabihau, Yobain, Yucatán. *Política y Cultura*: (45): 183-210.
- Hernández, A. J., A. Urcelay, y J. Pastor Piñeiro, 2002. Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración ecológica. Universitat de Valencia, Valencia, España.
- Holling, C. S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 1-23.
- Holling, C.S., 2003. Foreword: The backloop to sustainability. p. 33-52. In: F. Berkes, J. Colding, & C. Folke (eds). *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*.
- INEGI, 2002. [Resultados censo población y vivienda]. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx>.
- INEGI, 2010. [Resultados censo población y vivienda] Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx>.
- INEGI, 2014. Resultados del censo económico. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/default.aspx>.
- Ingles, P., 2008. Sunken boats, tangled nets, and disrupted lives: impacts of Hurricane Katrina on two coastal areas of Louisiana., p. 145-167. In: *Mitigating Impacts of Natural Disasters on Fisheries Ecosystems*, Katherine D. McLaughlin, ed. American Fisheries Society.
- Invemar, Grupo Laera, GCAP y CDKN (Eds.), 2014. Adaptación al cambio climático en ciudades costeras de Colombia. Guía para la formulación de planes de adaptación. Serie de Publicaciones Generales del Invemar. Santa Marta. (65) 40.

- Islam, M. M., S. Sallu, K. Hubacek, y J. Paavola, 2014. Vulnerability of fishery-based livelihoods to the impacts of climate variability and change: insights from coastal Bangladesh. *Regional Environmental Change*, 14(1): 281-294.
- Jury, S. H., W.H. Howell, y W.H. Watson III, 1995. Lobster movements in response to a hurricane. *Marine Ecology Progress Series*, 305-310.
- Ladd, M. C., y L. Collado-Vides, 2013. Practical applications of monitoring results to improve managing for coral reef resilience: a case study in the Mexican Caribbean. *Biodiversity and Conservation*, 22(8): 1591-1608.
- Liguori, L. A., 2005. The role of women in the social and ecological resilience of San Felipe's fisheries. (Tesis de maestría), University of British Columbia, Canada
- Maraví, E., E. Maraví, E. Martínez Oliva, C. Nieto Cabrera, J.H. Echeverri Rodríguez, A. Izzo, y J. Jan Hoffmann, 2012. Cómo desarrollar ciudades más resilientes un manual para líderes de los gobiernos locales (No. CATIE ST MT-125). Estrategia Internacional para la reducción de desastres.
- McGroddy, M., D. Lawrence, L. Schneider, J. Rogan, I. Zager, y B. Schmook, 2013. Damage patterns after Hurricane Dean in the southern Yucatán: Has human activity resulted in more resilient forests?. *Forest Ecology and Management*, 310: 812-820.
- Maldonado Muñoz, Z., 2009. Vulnerabilidad y resiliencia ante las amenazas en el Municipio de Loíza, Puerto Rico. *Umbral*, 1: 199-217.
- Morecroft, M. D., H.Q. Crick, S.J. Duffield, y N.A. Macgregor, 2012. Resilience to climate change: translating principles into practice. *Journal of Applied Ecology*, 49(3): 547-551.
- Mumby, P. J., B.H. Wolff, Y.M. Bozec, I. Chollert, y P. Halloran, 2014. Operationalizing the resilience of coral reefs in an era of climate change. *Conservation Letters*, 7(3): 176-187.
- Oswald Spring, Ú., 2012. Vulnerabilidad Social en Eventos Hidrometeorológicos Extremos: Una Comparación entre los huracanes Stan y Wilma en México. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*, 12(2).
- Pérez, C.G., 2014. El contexto de vulnerabilidad social de pescadores ribereños en la península de Yucatán. *Sociedad y Ambiente*, 1: 2 (5): 25-47.
- Resilience Alliance, 2010. Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version 2.0.
- Rios-Lara, G. V., y S. Salas, 2009. Modelo Estructurado por Edades para la Evaluación de la Población de Langosta *P. argus* en la Plataforma de Yucatán, México. *Proc. Gulf Caribbean Fisheries Inst.*, 61: 451-460.
- Rios-Lara, G. V., C.E.Z. Moguel, I.S. Molina, J. Irene, y R.M. Mendoza, 2011. Caracterización del Hábitat de Juveniles de Langosta *Panulirus argus* en la Costa Central (Dzilam de Bravo) del Estado de Yucatán, México. *Proceedings of the 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 63: 463-470.
- Salinas Chavez, E., R. Puga Millán, A. Areces Mallea, y R. Piñeiro Soto, 2013. La resiliencia como indicador en el ordenamiento ambiental del Golfo Batabanó, Cuba.
- Salazar, A. H., 2013. Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: un estudio de caso en Los Andes Colombianos. *Agroecología*, 8(1): 85-91.
- Salas, S., M. Bjørkan, F. Bobadilla, y M.A. Cabrera, 2011. Addressing vulnerability: coping strategies of fishing communities in Yucatan, Mexico. In *Poverty mosaics: Realities and prospects in small-scale fisheries* (pp. 195-220). Springer, Dordrecht.
- Soares, D., y A. Peña, 2015. Vulnerabilidad frente a huracanes desde la perspectiva de los actores sociales locales. *Sociedad y Ambiente*, 1(5).
- Tejada, M., G.C. Malvarez, y F. Navas, 2007. A New Environmental Indicator for Coastal Artificialisation and Resilience Mapping. *Journal of Coastal Research*, 67-71.
- Westerman, K., K.L. Oleson, y A.R. Harris, 2013. Building socio-ecological resilience to climate change through community-based coastal conservation and development: Experiences in southern Madagascar. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 11(1): 87-97.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Gobernanza ambiental ante el cambio climático: municipios costeros de México

G. Seingier, I. Espejel y O. Jiménez-Orocio

Resumen

La gobernanza ambiental de los 266 municipios costeros de México requiere de esquemas de monitoreo a nivel nacional donde sea posible observar la vulnerabilidad de los mismos ante los efectos del cambio climático. En este capítulo se propone una metodología para incorporar indicadores de gobernanza ambiental como elementos de la capacidad de adaptación dentro de un modelo de vulnerabilidad costera que incluye la sensibilidad y la exposición costeras. El índice de vulnerabilidad está compuesto por un subíndice de sensibilidad costera que incluye cuatro indicadores (dimensión, demografía, uso de suelo y vegetación), un subíndice de capacidad de adaptación que incluye cuatro indicadores (institutos municipales de planeación, atlas de riesgo, programas de adaptación y áreas protegidas) y un tercer subíndice de exposición actual y futura basado en indicadores de eventos (frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos), inundaciones litorales y sequías. Los escenarios de

Cambio Climático (CC) seleccionados son 2045-2069 u horizonte a mediano plazo, y 2075-2099 u horizonte a largo plazo (ambos para el RCP 8.5 de los modelos GFDL_CM3 Y MPI_ESM_LR). Se consideró el horizonte a mediano plazo para la exposición a huracanes y sequía, y a largo plazo para inundación de origen marino y sequía. La combinación de los subíndices resalta en que solo el 11 % (29 municipios costeros) tienen muy alta capacidad de adaptación a los efectos del CC, de los cuales solo tres municipios (Ensenada, Baja California; Matamoros, Tamaulipas y Ciudad del Carmen, Campeche) cuentan con los cuatro indicadores que forman este subíndice. La baja capacidad institucional para atender los efectos del CC puede atenderse con esquemas regionales de políticas públicas que fortalezcan a los municipios que comparten vulnerabilidad costera ante el CC.

Palabras clave: atlas de riesgo, áreas protegidas, Institutos municipales de planeación, municipios costeros, programas de adaptación.

Introducción

Los municipios costeros son vulnerables ante los efectos del cambio climático por un complejo de situaciones terrestres y marinas. La colaboración a la gobernanza ambiental, por parte de los municipios costeros, implica políticas tanto federales, como estatales y municipales. Por lo tanto, es importante generar esquemas sencillos, pero integradores de monitorización de los cambios físicos y socioeconómicos a nivel nacional, como instrumentos para fortalecer tanto las capacidades de los gobiernos locales como la participación colectiva para generar estrategias de adaptación.

En este capítulo se entiende la vulnerabilidad como un concepto que comprende elementos como sensibilidad o susceptibilidad al daño, capacidad de respuesta y adaptación de la sociedad y de los ecosistemas a esos factores (Liverman, 1990; Gallopin, 2006; Füssel, 2007; Green y McFadden, 2007; Hinkel, 2011; Hufschmidt, 2011). También se refiere a la exposición, a la presencia de personas, a sus medios de subsistencia, a especies o ecosistemas (funciones

y servicios) y recursos ambientales, a la infraestructura o a los activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente por el cambio climático e incorpora a la dimensión ecológica y a la dimensión humana (IPCC, 2007). La vulnerabilidad es evaluada desde diferentes perspectivas del riesgo, pero siempre tiene como objetivo la evaluación de la respuesta del sistema (Adger, 2006; Füssel, 2007), es decir, la respuesta de un sistema social, un ecosistema o un socio-ecosistema, ante un disturbio natural o antrópico; en este caso ante un cambio en el clima.

Para este capítulo y al ser un libro dirigido a tomadores de decisión, se seleccionó la definición del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) el cual dicta que “la vulnerabilidad es el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, y en particular la variabilidad del clima y los fenómenos extremos”. Según el IPCC (2007), la vulnerabilidad

dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, de su sensibilidad y capacidad de adaptación. Se refiere a cambio climático, cualquier cambio en el clima producido durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana. Entonces, la vulnerabi-

lidad es una función de tres componentes: Exposición, Sensibilidad y Capacidad de Adaptación. Esta última es la que puede dictar una decisión política y para su monitorización debe comprender indicadores cuya expresión tenga implicaciones a nivel municipal.

Antecedentes metodológicos

Los esquemas de evaluación de la vulnerabilidad costera ante los efectos del cambio climático, a partir de indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, han sido motivo para el desarrollo de otras metodologías adecuadas a las escalas de país o región, metodologías que a su vez están definidas por una serie de indicadores ad hoc a los objetivos de la evaluación (Abuodha y Woodroffe, 2006; McFadden, 2007; Harvey y Woodroffe, 2008; Abuodha y Woodroffe, 2010a; Mcleod *et al.*, 2010). Para el caso de México, en un libro anterior de esta serie sobre zona costera en México, Azuz-Adeth *et al.* (2010) proponen un listado de indicadores para cada componente de la vulnerabilidad de los municipios costeros ante el cambio climático. En este capítulo se eligieron algunos de los indicadores propuestos y se utilizan las definiciones particulares de cada componente que estos autores proponen:

- La exposición en la zona costera se refiere al grado en que el sistema está expuesto a estímulos externos que actúan sobre sí mismo (IPCC, 2007; Hinkel, 2011). Para el caso del cambio climático en la costa, los estímulos que afectarían a un municipio costero pueden ser el

aumento de la temperatura del océano y/o continental, el aumento en el nivel del mar, las inundaciones, el aumento en la frecuencia de eventos hidrometeorológicos, etc.

- La sensibilidad de la zona costera es el grado en el que el sistema resulta afectado tanto positiva como negativamente, por el cambio climático (IPCC, 2007). Cuanto más sensible es un municipio costero, mayor magnitud de impactos adversos ante un cambio y, por tanto, mayor vulnerabilidad. La sensibilidad puede estimarse por ejemplo con la densidad poblacional, el cambio de uso de suelo, la concentración de población e intensidad de uso del suelo en la planicie costera, la longitud costera del municipio, etc.
- La capacidad de adaptación de la zona costera, que es la que nos interesa enfatizar en este capítulo, se refiere al ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados, o a sus efectos, que atenúa los efectos perjudiciales o explota las oportunidades beneficiosas (IPCC, 2007), es decir, estima qué tanto está preparado un municipio costero para

afrontar y gestionar su “exposición” y “sensibilidad”, explica las capacidades municipales para aprovechar las oportunidades o responder a las consecuencias. Por lo general se evalúan los recursos económicos, políticos, culturales, sociales y tecnológicos con los que cuenta el municipio.

Indicadores de vulnerabilidad ante el cambio climático utilizados en las costas del mundo

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) un indicador se define como “un parámetro (propiedad que se mide y observa), o valor derivado de otros parámetros, dirigido a proveer información y describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado añadido mayor que el directamente asociado a su propio valor” (OCDE/OECD, 2000, 2003; Nardo *et al.*, 2005).

Los indicadores son un apoyo para la evaluación y seguimiento del estado de los ecosistemas y/o del desempeño del desarrollo, que son dinámicos y complejos. Estos indicadores permiten contribuir al desarrollo de propuestas gubernamentales, orientando sus políticas, así como también las acciones de la sociedad, brindando información oportuna para los tomadores de decisiones (Azuz-Adeath *et al.*, 2010). Hoy en día, es necesario sensibilizar a las personas sobre los posibles fenómenos, procesos y problemas ambientales que pudieran afectarles. Para que un indicador sea útil debe de cumplir con ciertas características como ser simple, relevante, adecuado, significativo, con una visión a gran escala y

de largo plazo. Esto significa que deben de ser suficientes, su metodología de construcción transparente, su utilidad para la toma de decisiones evidente y su capacidad para mostrar cambios o medir el avance clara (Spangenberg y Bonniot, 1998).

A nivel global, Nguyen *et al.* (2016) revisaron 53 estudios donde se evalúa el impacto del cambio climático en las costas del mundo con diferentes indicadores de vulnerabilidad. Concluyen que no se ha llegado a un consenso de los mejores indicadores, ya que hay una discrepancia desde la escala, espacial y temporal, en la cual se evalúa hasta la elección de indicadores, así como sus rangos de medición. Según los artículos revisados por Nguyen *et al.* (2016), el 87 % presenta indicadores de exposición, el 85 % de sensibilidad y el 74 % de capacidad de adaptación. La mayoría de los indicadores que encontraron en la literatura revisada son a nivel regional, especialmente para exposición y sensibilidad, pero son menos a escala local (excepto de exposición), nacional (excepto de capacidad de adaptación) y global.

Los estudios a escala global sobre la vulnerabilidad de las costas debido al cambio climático están enfocados a medir procesos geofísicos (geomorfología de las costas) o directamente impactos físicos (aumento en el nivel medio del mar, inundaciones, etc.) (Abuodha y Woodroffe, 2006; Eakin y Luers, 2006; Nicholls *et al.*, 2008). Es interesante lo que destacan Nguyen *et al.*, (2016) sobre una evidente escasez de estudios que incluyan parámetros socio-económicos en sus modelos de vulnerabilidad costera ante el cambio climático (siete indicadores a partir de variables físicas y solo tres de variables socioeconómicas).

Indicadores de vulnerabilidad ante el cambio climático propuestos para la zona costera de México

Para México destaca el trabajo de Azuz-Adeath *et al.* (2010) quienes enlistan 48 indicadores para evaluar la vulnerabilidad costera ante el cambio climático. Estos autores mencionan que cada modelo debe seleccionar aquellos indicadores que por un lado estén disponibles y por otro, no sean redundantes. Proponen que, mediante el uso de los indicadores, se modele la línea base de las zonas costeras del país y se elaboren escenarios sobre su posible evolución y se evidencien los cambios que las costas experimentan ante diferentes acciones tendientes a mitigar o adecuarse ante los impactos del cambio climático. Es justamente lo que se muestra en este capítulo.

Aunque se sabe que hay información puntual de muy buena calidad, que hay repeticiones de datos para calcular cambios en sitios precisos, y que para estudios a nivel de país, son útiles las cartas oficiales del INEGI, de secretarías de estado y bases de datos mundiales, no es posible encontrar los indicadores necesarios para estimar la vulnerabilidad de los municipios costeros ante los efectos del cambio climático a todas las escalas. La mayoría de los indicadores existen a escalas locales y regionales y son pocos los disponibles a nivel nacional (Seingier *et al.*, 2011a,b). Por lo tanto, en esta investigación se estima la vulnerabilidad de los municipios costeros ante los efectos del cambio climático, basada en datos disponibles y se propone como línea base para el monitoreo municipal y así fortalecer su gobernanza ambiental.

Propuesta metodológica

Los municipios costeros son multisectoriales por lo tanto, es importante regionalizar el país por actividades dominantes. Sin embargo, para estudios comparativos y de país, es necesario analizar, en una primera aproximación, en este caso a los municipios costeros, de manera homogénea utilizando los mismos indicadores. Por ello, para evaluar la vulnerabilidad de los municipios costeros de México ante los efectos del cambio climático, se seleccionaron los municipios definidos por el Programa para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México (PANDSOC) (actualizados de SEMARNAT, 2007).

La regionalización se realizó siguiendo criterios ecológicos y geográficos tomados

de la regionalización de las costas en los cinco mares de México (Pacífico Norte, golfo de California, Pacífico Sur, golfo de México y mar Caribe) por coincidir con el sistema de regiones de la Secretaría de Marina, del INE-SEMARNAT (Córdoba *et al.*, 2009) y de investigadores de las costas del país (Rivera-Arriaga y Villalobos, 2001).

Los indicadores y alcances para poder monitorear el problema

Para este estudio de país, se aplicaron a los 266 municipios seleccionados los subíndices e indicadores del modelo de vulnerabilidad costera ante los efectos del cambio climático, el cual integra tres tipos de indicadores: indicadores de exposición,

indicadores de sensibilidad e indicadores de capacidad de adaptación del sistema (en este caso, la capacidad del municipio). El modelo de evaluación de la vulnerabilidad costera se aplicó en dos tiempos, actual y ante dos escenarios de cambio climático, un horizonte de tiempo 2045-2069 u horizonte a mediano plazo y otro de 2075-2099 u horizonte a largo plazo (Modelo GFDL_CM3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory-USA) y MPI_ESM_LR (Max Planck Institute for Meteorology-Alemania), ambos para la Trayectoria Representativa de Concentración (RCP, por sus siglas en inglés) de 8.5. La climatología actual de referencia corresponde a los datos del SMN (1961-2000) (Fernández-Eguiarte *et al.*, 2015).

La propuesta de método de evaluación de la vulnerabilidad costera ante el cambio climático para México propone especificar los tipos de vulnerabilidad: dos son propias de la problemática costera, 1) vulnerabilidad a huracanes y 2) vulnerabilidad a inundacio-

nes litorales, y otra que es importante en la costa, pero se comparte con otras regiones del país, 3) vulnerabilidad a sequía.

El reto de la elección de indicadores de cambio climático radica en que estos deben poder calcularse de la misma manera con los datos actuales, así como con los datos de las salidas de los modelos de escenarios futuros. Por lo tanto, se usaron las dos variables climáticas más utilizadas para estos fines, la temperatura y la precipitación. Debido a esto, si bien la vulnerabilidad actual se pudo evaluar en función de la exposición, de la sensibilidad, y de la capacidad de adaptación; la vulnerabilidad con cambio climático (*i.e.* futura) se evaluará en función de los diferentes eventos, modelos y horizontes seleccionados. En la figura 1 se resume el modelo de indicadores construido.

En los anexos 1, 2 y 3 se presentan los cálculos de cada indicador, subíndice e índice propuestos, así como el proceso de normalización que permite la conversión a valores

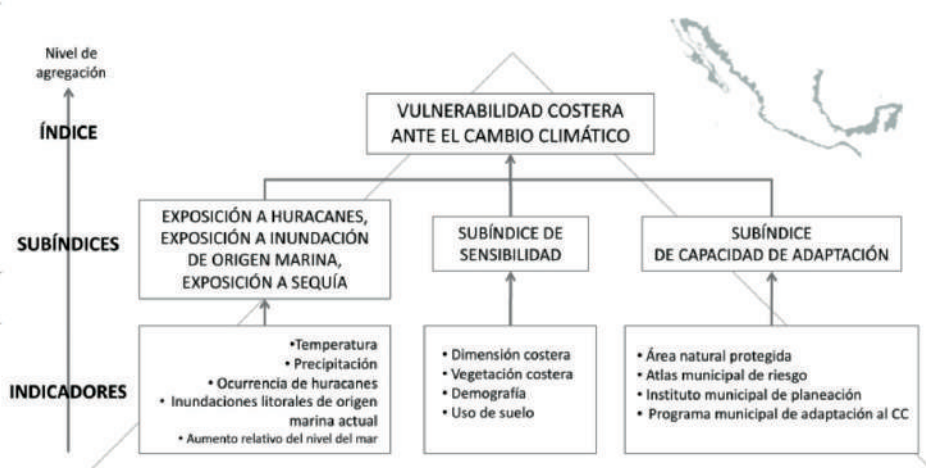


Figura 1. Resumen de la construcción del modelo de vulnerabilidad costera ante el cambio climático a partir de los indicadores seleccionados.

adimensionales entre cero y uno (anexo 1). A continuación, se explican algunas anotaciones sobre los métodos utilizados.

Sensibilidad

Con el modelo propuesto se entiende que un municipio costero es más sensible a los efectos del cambio climático si tiene una mayor proporción de costa con respecto a su superficie, una mayor población en la zona costera que en el resto del municipio y sin vegetación costera (o con vegetación costera pero dañada) que lo proteja de los embates marinos (anexo 2).

Capacidad de Adaptación

El subíndice de mayor importancia para la gobernanza ambiental municipal es la capacidad de adaptación de los municipios costeros la cual proponemos estimar según el número de instrumentos de política de planeación territorial que prevean la atención a las emergencias causadas por los efectos del cambio climático. Existen varios indicadores aplicables a diferentes escalas, aquí a escala municipal, se utilizan la existencia/presencia de cuatro: 1) del atlas de riesgo municipal, 2) de los planes de acción ante los efectos del cambio climático, 3) de un instituto de investigación y planeación municipal, y 4) de instrumentos de protección ambiental (ANP) (anexo 1).

El indicador de instituto municipales de planeación refleja la existencia de una capacidad de realizar tareas de planeación y establecer continuidad en los procesos con una visión de desarrollo sustentable, elementos propicios para una adaptación a los impactos del cambio climático. El indicador de atlas municipal de riesgo refleja la existencia de un instrumento que proporciona conocimiento a nivel local sobre la exposición a eventos y sensibilidad de

la población, base para una adaptación. El indicador de programa municipal de adaptación al cambio climático refleja un paso más en la madurez de los municipios en la existencia de un programa donde se definen acciones para la adaptación. Por último, el indicador de áreas naturales protegidas se define como la proporción del municipio protegida bajo el estatuto de Área Natural Protegida de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

La obtención de un valor para el subíndice de capacidad de adaptación a futuro será difícil de modelar para los horizontes considerados en los modelos climáticos. Aunque es deseable que todos los municipios costeros cuenten con estos indicadores, no es predecible su existencia futura en los municipios.

Exposición

Los eventos meteorológicos a los cuales están expuestos los municipios costeros pueden ser varios como ha sido comentado anteriormente. De estos, se seleccionaron tres que son susceptibles de ser modelados a futuro y que tienen más impacto sobre los municipios costeros (anexo 3).

El primer paso fue enlistar todos los eventos asociados al clima presentes en la zona costera. Para conocer los eventos meteorológicos que han impactado al país se consultó el Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (DESINVENTAR). DESINVENTAR es una base de datos de ocurrencia de desastres en América Latina, con registros principalmente de fuentes hemerográficas (DESINVENTAR, 2016).

Con la información del registro de desastres, en los municipios costeros del México, se identificaron 14 tipos de eventos en el periodo 1970-2013. Los eventos con mayor registro fueron las lluvias intensas, las

cuales, por la temporada de ocurrencia, están asociadas a otros eventos meteorológicos extremos de mayor registro, como son los huracanes. También, se identificaron otros eventos a escalas de tiempo más largas como las sequías que afectan fuertemente a algunos municipios de las regiones costeras (anexo 3).

Exposición: a eventos hidrometeorológicos

El impacto de eventos hidrometeorológicos de diferentes intensidades en los municipios costeros implica costos económicos y humanos de gran magnitud. Determinar las zonas más propensas a huracanes a futuro, permitirá proponer mejores planes de gestión costera y mejores criterios de adaptación al cambio climático. La variable principal utilizada es el registro histórico de eventos hidrometeorológicos, de los cuales se seleccionaron espacialmente los ciclones tropicales que han impactado las costas mexicanas. Con herramientas de Sistema de Información Geográfico (uniones espaciales, resumen de atributos, y uniones tabulares), se identificaron las intersecciones entre las dos capas de las superficies municipales y las trayectorias de los ciclones, revelando los eventos que tuvieron impacto en los municipios costeros y la probabilidad de ocurrencia para el horizonte mediano (ver anexo 1).

Exposición: a inundaciones de origen marino y al cambio en el nivel relativo del mar

El subíndice IEIM se refiere a la exposición del litoral a inundaciones de origen marino y al cambio en el nivel relativo del mar. El subíndice actual se refiere a las zonas litorales susceptibles a inundación, las cuales en el futuro sufrirán un impacto mayor si

el municipio se localiza en una zona que estará afectada por el aumento relativo del nivel del mar, como se describe a continuación.

Exposición: a sequía

La sequía, relacionada a la aridez y disponibilidad del recurso agua, es un fenómeno e indicador esencial en la determinación de los impactos negativos del cambio climático. Las variaciones de la temperatura (como capacidad del clima para evaporar), así como la disminución de las precipitaciones (como fuente de agua), y su relación, tienen repercusiones en varios sectores desde la agricultura hasta la salud pública.

Escenarios actual y proyección a futuro con CC (exposición a sequía)

Para la cuantificación numérica de la sequía y su aplicación en la interpretación del proceso de aridez, se han propuesto y utilizado diferentes métodos para la delimitación y caracterización de las zonas áridas y semiáridas. El cálculo de la relación PP/t es una de las alternativas numéricas que se aplica en este tipo de estudios (Amador *et al.*, 2011), publicada y referida como el índice de Lang (Hubálek y Horáková, 1988; Sánchez-Torres *et al.*, 2011).

Para la situación actual, se usan los datos de la climatología, y para las proyecciones a futuro y los escenarios de cambio climático seleccionados se calcula el índice de Lang con los valores de temperatura y precipitaciones correspondientes a las salidas de los diferentes modelos. Se calificaron de acuerdo a las clases estándares propuestas por Troyo-Diéguez *et al.* (2014). Para cuantificar los cambios de exposición a sequía a lo largo de las costas para determinar las regiones con mayor impacto se compararon las clases del índice de Lang.

Resultados. Construcción del índice de vulnerabilidad

Los diferentes subíndices construidos se combinan para obtener la vulnerabilidad a cada evento ante el cambio climático en el marco conceptual propuesto por el IPCC (figura 1) donde la vulnerabilidad es función de la Exposición, Sensibilidad, Capacidad de Adaptación. La vulnerabilidad asociada a cambio climático es la obtenida usando los valores de las proyecciones de los modelos para el futuro, combinaciones de resultados para diagnosticar las situaciones

de vulnerabilidad ante el cambio climático en la zona costera: modelos diferentes para dos horizontes de tiempo según los casos de exposición, de los cuales se seleccionaron algunos mapas para ejemplificar el tipo de resultados obtenidos (figura 2).

Subíndice de sensibilidad

Para el índice de sensibilidad (I_s en la Figura 2), definido como la suma de los cuatro indicadores de proporción litoral, demo-

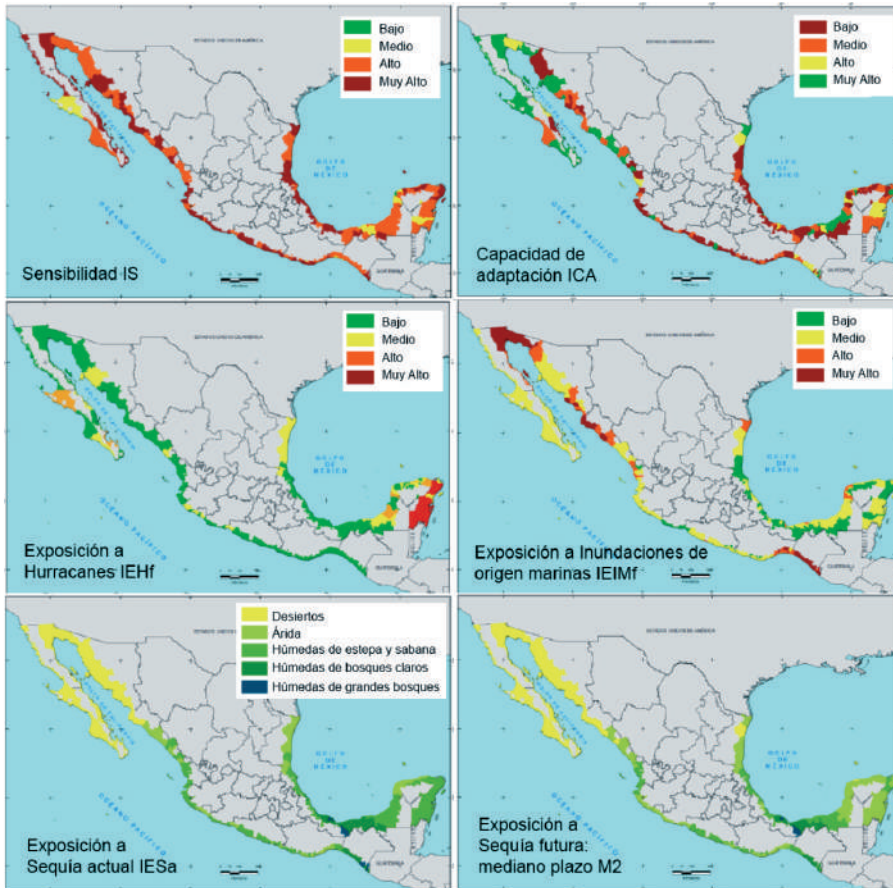


Figura 2. Mapas resultados de los diferentes subíndices asociados a los escenarios de vulnerabilidad ante efectos del cambio climático en los municipios costeros de México.

grafía, uso de suelo y vegetación, se observa que los municipios de las regiones Pacífico centro y sur y oeste del golfo de México tienen valores muy altos y los valores de sensibilidad altos se concentran en el mar Caribe y así como en el Pacífico Sur. En cuanto a la dimensión costera, la comparación de la longitud de costa con la superficie terrestre municipal refleja que hay más proporción de costa en los municipios de ambas regiones del Pacífico y en Quintana Roo de la región del mar Caribe. Aunque la población de los municipios ha crecido en los últimos años, la costa todavía no está densamente poblada. Las mayores poblaciones se distribuyen de manera claramente concentrada, por ejemplo, en ciudades de los municipios de Tijuana y Mexicali en Baja California, Peñasco en Sonora y Benito Juárez en Quintana Roo. La mayoría de las ciudades costeras se han expandido por la promoción de proyectos turísticos, pero de forma centrada en las marinas (Cancún, Los Cabos, Vallarta) o zonas industriales en el caso de Veracruz en las ciudades petroleras (Ciudad del Carmen, Coatzacoalcos y Minatitlán). El cambio de uso del suelo refleja resultados asociados al indicador anterior pero el uso agropecuario es el uso que ha transformado la mayoría de la vegetación natural de las costas. Selvas transformadas en agostaderos y cocotales son los usos dominantes en las costas de los municipios del Pacífico Sur y golfo de México. El indicador de vegetación costera está en la clase muy alta en la mayoría de los municipios y debido a que mide la proporción de vegetación costera (humedales, manglares y dunas), lo que los define como costeros aunque no tengan contacto directo con el mar.

Subíndice de capacidad de adaptación costera

A la inversa del subíndice de sensibilidad, la mayoría de los municipios costeros del país (color rojo del mapa ICA de la figura 2) tiene una capacidad baja de adaptación, es decir no cuentan con ninguno de los cuatro instrumentos de política pública que les permita estar preparados para enfrentar los impactos del cambio climático en sus costas. Específicamente, para los casos de las regiones golfo de México (GM) y Pacífico Sur (PS), la falta de instrumentos legales de protección (proporción de Áreas Naturales Protegidas) disminuye más su capacidad de adaptación. Hay tres grandes reservas marinas nuevas en el Caribe, el Pacífico profundo y sus islas. Las regiones Pacífico Norte (PN) y golfo de California (GC) están más preparadas ya que cuentan con instrumentos legales, de protección y/o con instituciones como los institutos de planeación e investigación municipales, encargados de elaborar los planes de desarrollo locales y las estrategias de adaptación a los efectos del cambio climático.

El indicador referente a la presencia de institutos municipales de planeación solo tiene dos valores: *Muy alto* si cuenta con un instituto, o *Bajo* si no lo tiene. Solamente el estado de Baja California tiene un instituto en cada uno de sus municipios, seguido por Baja California Sur con 44 % de sus municipios con instituto de planeación, luego Colima, Sinaloa y Sonora con 33, 27 y 21 % de sus municipios con instituto de planeación respectivamente. El resultado del indicador deja en evidencia la debilidad administrativa de los municipios para planificar su adaptación a los efectos del cambio climático: de los 266 municipios costeros, existen solamente 22 institutos municipales de planeación. Seis de los 17

estados costeros no cuentan con dicha figura institucional (tabla 1).

De la misma manera, el indicador referente a que los municipios cuenten con un atlas municipal de riesgo solo tiene dos valores, *Muy alto* si cuenta con un atlas, o *Bajo* si no lo tiene. Este subíndice tiene valores más alto que el anterior de instituto municipal de planeación, y en todos los estados costeros el instrumento de atlas municipal de riesgo está presente a lo menos en un municipio. Los estados de Baja California y de Colima se destacan por tener todos sus municipios con un atlas de riesgo, seguidos por cinco estados con arriba de las dos terceras partes de sus municipios con atlas de riesgo: Sinaloa, BCS, Tamaulipas, Quintana

Roo y Chiapas (tabla 1). El resultado del indicador deja en evidencia las diferencias administrativas relacionada a la toma de consciencia del riesgo en los municipios, hacia una planificación de su adaptación a los efectos del cambio climático.

El indicador referente a que los municipios cuenten con un programa municipal de adaptación al cambio climático solo tiene dos valores, *Muy alto* si cuenta con un programa, o *Bajo* si no lo tiene. Solamente 9 % de los municipios costeros tienen un programa municipal de adaptación al cambio climático (PACMUN). Como en el caso de los institutos municipales de planeación, se destacan los estados de Baja California y de Sinaloa por tener el 80 %,

Tabla 1. Resumen estatal del subíndice de capacidad de adaptación.

Estados	No. Municipios costeros	No. Mun. con IMIP	No. Mun. Con AR	No. Mun. con PACMUN
Baja California.	5	5	5	4
Baja California Sur.	9	4	8	0
Campeche.	9	1	3	4
Chiapas.	14	1	9	0
Colima.	3	1	3	0
Guerrero.	15	1	2	0
Jalisco.	5	0	1	0
Michoacán de Ocampo.	3	0	1	0
Nayarit.	8	0	4	0
Oaxaca.	41	0	11	0
Quintana Roo.	9	1	6	3
Sinaloa.	11	3	10	7
Sonora.	14	3	6	2
Tabasco.	13	1	1	0
Tamaulipas.	7	1	5	2
Veracruz .	55	0	13	3
Yucatán.	50	0	9	1
Total general.	271	22	97	26
%		8.1	35.8	9.6

y el 64 %, de sus municipios con PACMUN. Nueve de los 17 estados costeros no tienen programa municipal de adaptación al cambio climático.

El resultado de este índice ICA deja en evidencia la debilidad administrativa de los municipios para planificar su adaptación a los efectos del cambio climático. En efecto,

solo 11 % de los municipios costeros, 29 de los 266, tiene una capacidad muy alta de adaptación, y de estos solo tres municipios cuentan con los cuatro indicadores considerados: Ensenada, Matamoros y Carmen (tabla 2). Municipios de sitios de importancia económica que tienen al menos un atlas de riesgo para atender los efectos del

Tabla 2. Municipios costeros con mayor capacidad de adaptación ante efectos del cambio climático.

	Estado	Municipio	Institutos municipales de planeación	Atlas de Riesgo	Plan de acción municipal	Porcentaje de ANP	Capacidad de Adaptación
1	Baja California.	Ensenada.	+	+	+	+	0.91
2	Tamaulipas.	Matamoros.	+	+	+	+	0.88
3	Campeche.	Carmen.	+	+	+	+	0.87
4	Sinaloa.	Mazatlán.	+	+	+	-	0.76
5	Sinaloa.	Guasave.	+	+	+	-	0.76
6	Quintan Roo.	Benito Juárez.	+	+	+	-	0.76
7	Sinaloa.	Culiacán.	+	+	+	-	0.75
8	Baja California.	Tijuana.	+	+	+	-	0.75
9	Baja California.	Playas de Rosarito.	+	+	+	-	0.75
10	Sonora.	Puerto Peñasco.	-	+	+	+	0.61
11	Baja California.	Mexicali.	+	+	-	+	0.57
12	Baja California Sur.	La Paz.	+	+	-	-	0.55
13	Sinaloa.	Angostura.	-	+	+	-	0.53
14	Sonora.	Hermosillo.	+	+	-	-	0.52
15	Tabasco.	Centro.	+	+	-	-	0.51
16	Guerrero.	Acapulco de Juárez.	+	+	-	-	0.50
17	Baja California Sur.	Los Cabos.	+	+	-	-	0.50
18	Yucatán.	Mérida	-	+	+	-	0.50
19	Colima.	Manzanillo.	+	+	-	-	0.50
20	Campeche.	Champotón.	-	+	+	-	0.50
21	Sinaloa.	Elota.	-	+	+	-	0.50
22	Chiapas.	Tapachula.	+	+	-	-	0.50
23	Sinaloa.	Escuinapa.	-	+	+	-	0.50
24	Baja California Sur.	Mulegé.	-	-	-	+	0.50
25	Sinaloa.	Salvador Alvarado.	-	+	+	-	0.50
26	Sonora.	Empalme.	+	+	-	-	0.50
27	Tamaulipas.	Ciudad Madero.	-	+	+	-	0.50
28	Veracruz.	La Antigua.	-	+	+	-	0.50
29	Veracruz.	Poza Rica de Hidalgo.	-	+	+	-	0.50

cc son Altamira y Tampico en Tamaulipas; Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos en Veracruz; Progreso en Yucatán, Salina Cruz en Oaxaca y Lázaro Cárdenas en Michoacán. Resaltan los estados costeros de Tabasco, Guerrero, Michoacán, o Yucatán como municipios con menor capacidad de adaptación, pueden influir el gran número de municipios, con extensión geográfica reducida, y por ende con capacidad institucional reducida. Deja en evidencia la debilidad de la mayoría de los municipios en este aspecto para planificar su adaptación a los efectos del cambio climático.

Subíndice de exposición - Selección de eventos posibles de modelar a futuro

El resultado de este análisis permite identificar a los municipios más expuestos a eventos meteorológicos, con base en un análisis histórico. En general, los resultados tendrán mejores interpretaciones si se realizan a nivel regional.

Un resultado del subíndice indica que hay dominancia de municipios con clases alta y muy alta de exposición de origen climático tanto de aquellos referentes a precipitación o ausencia de ella, como a procesos litorales que propician inundaciones costeras en las planicies costeras de los municipios.

Si bien estos datos sugieren la ocurrencia y la diversidad de los eventos, en los municipios costeros, es difícil ligarlos totalmente a los horizontes de los modelos de cambio climático porque estos solo proporcionan datos de temperatura y precipitaciones mensuales. Dado que no se cuentan con los datos ni las herramientas necesarias para determinar la probabilidad de ocurrencia a mediano o largo plazo de cada uno de los eventos, se seleccionaron solo aquellos más relacionados a los procesos de la zona cos-

tera. Se hicieron pruebas con varios indicadores, se hicieron análisis estadísticos para encontrar su significancia y se analizó su expresión espacial en la cartografía. Los tres indicadores seleccionados dependen de variables conocidas como “bisagras”, es decir que están disponibles tanto para la climatología actual como a la proyectada en los modelos de cambio climático.

Escenarios futuros de cambio climático en la zona costera

Se presentan resultados en situación actual y a futuro con el modelo MPI_ESM_LR, seleccionado por ser el más contrastante (figura 2), y de ende representar la situación futura más extrema, y se discute a la luz de la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los municipios costeros.

Actual. La climatología actual de referencia, línea base para calcular los cambios, se refiere al escenario base tomado de Climatología base SMN 1961-2000 (con una resolución de 30" x 30" por píxel). Para cada municipio se realizó el proceso de análisis espacial de los valores que proporcionan los modelos, y se obtuvo un valor único municipal. Por ejemplo, para obtener la temperatura promedio en un municipio, se seleccionaron espacialmente todos los píxeles dentro de sus límites y se obtuvo el promedio de los valores. Se siguió el mismo procedimiento para las salidas de los modelos de cambio climático para cada municipio.

Horizontes. Se analizaron dos horizontes de tiempo a aplicar según los casos de exposición: 2045-2069 u horizonte a mediano plazo, y 2075-2099 u horizonte a largo plazo (ambos para el RCP 8.5). Se consideró el horizonte a mediano plazo para la exposición a huracanes y sequía, y a largo plazo para inundación de origen marino y sequía.

Selección de modelos de cambio climá-

tico. Los diferentes modelos de cambio climático proporcionan datos de temperatura y precipitaciones mensuales según el horizonte. Al compararlos con la climatología actual, se visualiza la amplitud de aumento o disminución de la variable. Al cartografiarlos se identificaron las regiones donde los modelos concuerdan o divergen y se reflejan zonas con diferentes grados de incertidumbre. La selección de los modelos a utilizar se hizo atendiendo al análisis de las salidas de dos modelos: GFDL_CM3 y MPI_ESM_LR; y dos horizontes de tiempo (mediano y largo plazo) todos para el RCP 8.5. Se seleccionó el modelo MPI_ESM_LR, por ser el más contrastante con la situación actual

Precipitación. Aunque se usaron otros modelos, las salidas del modelo MPI_ESM_LR resultaron seleccionados porque presentan los valores más contrastantes de lluvias. Cabe mencionar que ambos modelos (GFDL_CM3 y MPI_ESM_LR) presentan tendencias de disminución de la precipitación, y se propone utilizar el modelo MPI_ESM_LR que es más consistente. Las salidas del MPI_ESM_LR generalmente presentan valores menores, tanto para la climatología actual como para los demás modelos.

Temperatura. En cuanto a los resultados de temperatura, los dos modelos propuestos inicialmente son parecidos en términos de temperatura para los horizontes a mediano y lejano plazo. Se sugiere usar el MPI_ESM_LR, principalmente por tener mayor diferencia de temperatura con respecto a la climatología actual. Además, se seleccionó ese modelo por las razones que se mencionan anteriormente para los valores de salida de precipitación, y mantener el mismo modelo para temperatura como precipitación.

Subíndice de exposición a huracanes. El escenario futuro (mediano plazo) de ex-

posición a huracanes para los municipios costeros indica que, de acuerdo a los modelos utilizados, la región del mar Caribe es la que tiene valores altos, y algunos municipios de ambas penínsulas tienen valores altos de este indicador de exposición a huracanes futuros. Se explican los valores bajos en el Pacífico Sur debido a que, aunque hay huracanes, en comparación con los que llegan al Caribe son menos, pero sobre todo no de las categorías (en la escala Saffir-Simpson) tan altas como los que tocan Quintana Roo, Yucatán y Campeche. Es decir, la probabilidad de que haya un huracán de alta categoría en el Pacífico es menor que en el Caribe y golfo de México.

Subíndice de exposición a inundación de origen marino. Los escenarios de exposición a inundación de origen marino para los municipios costeros hacen destacar todos los municipios de Chiapas en el Pacífico Sur, así como el norte de Sinaloa-sur de Sonora. También se destaca por sus valores altos la región del Alto Golfo de California.

Subíndice de exposición a sequía. La heterogeneidad que presentan los municipios costeros no permitió encontrar grupos que pudieran interpretarse. Los municipios que por el tema de este capítulo parecen prioritarios, corresponden a los con capacidad de adaptación muy baja y su sensibilidad y exposición son muy altas. La tendencia hacia la aridez, visto a través del índice de Lang, muestra zonas áridas en 43 % de los 266 municipios costeros (más de la mitad de la población costera). La comparación entre la situación actual y el futuro muestra el aumento de la condición de aridez diferenciando entre regiones áridas que se mantendrán así (Pacífico Norte) y regiones actualmente húmedas que se desplazarán hacia la categoría árida (mar Caribe) o categoría desértica (norte del golfo de México).

Recomendaciones para tomadores de decisiones

La metodología aquí propuesta es una forma simple para monitorizar el impacto de adaptación al CC mediante la incorporación de instrumentos de política pública nacional y municipal. En este caso, dichas políticas públicas están expresadas con la presencia de institutos municipales de planeación, de atlas de riesgo, programas de adaptación al CC y contar con al menos una proporción municipal dentro de un área natural protegida.

Los municipios que cuentan con estos cuatro indicadores de gobernanza ambiental, a pesar de tener gran cantidad de litoral, alta proporción de población costera y tasa de cambio de uso de suelo, tienen mayores herramientas, desde la gobernanza ambiental, para enfrentar los efectos de hu-

racanes, inundaciones y sequías. Es urgente una política pública que motive a los municipios a implementar estrategias simples, como por ejemplo las cuatro seleccionadas en esta investigación.

Los estudios de país de este tipo, necesariamente requieren análisis regionales para encontrar asociaciones de municipios costeros que compartan el mismo tipo de vulnerabilidad, por ejemplo, los municipios pequeños del Pacífico Sur, para unir esfuerzos y crear Institutos Regionales de Planeación, Atlas Regionales de Riesgo, o Sistemas Regionales de Áreas Voluntarias para la Protección de los Ecosistemas Costeros, cuya función sería proteger de los efectos de huracanes, inundaciones y/o sequías.

Agradecimientos

La Dra. Lourdes Villers nos introdujo al tema del cambio climático, gracias a ella agregamos a nuestros estudios de municipios del país, variables que permitirían planificar mejor las costas mexicanas. Este capítulo muestra los resultados parciales del proyecto PNUD-INECC Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y

Crecimiento Verde entre Canadá y México 2013-2016 denominado “Caracterización y regionalización de las zonas costeras de México, que incluyan métodos de sistemas de información geográfica y estadísticas biofísicas y socioeconómicas en condiciones actuales y con cambio climático”.

Literatura citada

- Abuodha, P., y C.D. Woodroffe, 2006. International assessments of the vulnerability of the coastal zone to climate change, including an Australian perspective. Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Heritage. 75 p.
- Abuodha, P., y C.D. Woodroffe, 2010a. Vulnerability assessment. En: Green, D.R. (Ed.), *Coastal Zone Management*. Thomas Telford Ltd, London, 262-290 p.
- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16: 268-281.
- Azuz-Adeath, I., M.C. Arredondo-García, I. Espejel, E. Rivera-Arriaga, G. Seingier y J.L. Fermán. 2010b. Propuesta de indicadores de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino. p. 901-940. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). *Cambio climático en México un enfoque costero-marino*. Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.
- Córdoba y Vázquez A., F. Rosete Vergés, G. Enriquez Hernández, y B. Hernández de la Torre (comp.), 2009. Ordenamiento Ecológico marino. Visión integrada de la regionalización. INE-SEMARNAT. 232 p.
- DESINVENTAR, 2016. Sistema de inventario de efectos de desastres. UNISDR-LA RED- Corporación OSSO. <http://www.desinventar.org/>
- Eakin, H., y A.L. Luers, 2006. Assessing the vulnerability of socio-environmental systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 31: 365-394.
- Fernández Eguiarte, A., J. Zavala Hidalgo, R. Romero Centeno, A. C. Conde Álvarez, y R. I. Trejo Vázquez, 2015. Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de: <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/serv-mapas>.
- Füsel, H.M., 2007. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17: 155-167.
- Gallopín, G., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16: 293-303.
- Green, C., y L. McFadden, 2007. Coastal vulnerability as discourse about meanings and values. *Journal of Risk Research*, 10: 1027-1045.
- Harvey, N., y C.D. Woodroffe, 2008. Australian approaches to coastal vulnerability assessment. *Sustain. Sci.*, 3: 67-87.
- Hinkel, J., 2011. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change*, 21:198-208.
- Hufschmidt, G., 2011. A comparative analysis of several vulnerability concepts. *Natural Hazards*, 58:621-643.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. En: Palutikof, J., van der Linden, P, Hanson, C. (Eds.). *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 7-22 pp.
- Liverman, D.M., 1990. Vulnerability to global environmental change. p. 27-44. En: Kasperson R.E., Dow K., Golding D. y Kasperson J.X. (Eds.). *Understanding global environmental change: The contributions of risk analysis and management* Worcester, MA: Clark University.
- McFadden, L., 2007. Vulnerability analysis: a useful concept for coastal management? p. 15-28. En: McFadden L., Nicholls R.J. y Penning-Rowsell E. (Eds.). *Managing Coastal Vulnerability*. Elsevier.
- McLeod, E., B. Poulter, J. Hinkel, E. Reyes, y R. Salm, 2010. Sea-level rise impact models and environmental conservation: a review of models and their applications. *Ocean Coast. Manag.*, 53: 507-517.
- Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli, y S. Tarantola. 2005. Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD/OECD). 207 p.
- Nguyen, N.T., J. Bonetti, K. Rogers, y C.D. Woodroffe, 2016. Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of

- concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean and Coastal Management*, 123: 18-43.
- Nicholls, R.J., P.P. Wong, V. Burkett, C.D. Woodroffe, y J. Hay, 2008. Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment. *Sustain. Sci.*, 3: 89-102.
- OCDE/OECD, 2000. Frameworks to measure sustainable development. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD), París. 164 p.
- OCDE/OECD, 2003. OECD Environmental indicators development, measurement and use. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD), París. 37 p.
- Rivera Arriaga E., y G. Villalobos, 2001. The coasts of Mexico: approaches for its management. *Ocean and Coastal Management*. 44(11-12):729-756.
- Seingier, G., I. Espejel, J. L. Ferman. G. Montaña, I. Azuz, y G. Aramburo 2011a. Halfway to sustainability. *Ocean and Coastal Management*, 54(2): 123-128.
- Seingier, G., I. Espejel, J. L. Fermán. G. Montaña, I. Azuz, y G. Aramburo. 2011b. Design of an integrated coastal orientation index. Cross-comparison of Mexican municipalities. *Ecological Indicators*, 11(2):633-642
- SEMARNAT, 2007. Estrategia Nacional para el Ordenamiento Ecológico del Territorio en Mares y Costas. Colección Legal. Semarnat. 33 pp.
- Spangenberg, J.H., y O. Bonniot, 1998. Sustainability Indicators. A compass on the road towards sustainability. Wuppertal Paper No. 81, Wuppertal Institute. 34p.
- Warton, D.I., T.W. Wright, y Y. Wang, 2012. Distance-based multivariate analyses confound location and dispersion effects. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 89-101

Anexo 1. Síntesis de indicadores y subíndices utilizados para el análisis de los municipios costeros (vulnerabilidad, capacidad de adaptación costera, normalización).

Indicador o subíndice	Fórmula
<p>Índice de vulnerabilidad costera ante efectos de cambio climático.</p>	<p>Vulnerabilidad = f (Exposición, Sensibilidad, Adaptación). Los valores de cada subíndice se pueden sumar, multiplicar, sumar los dos primeros y restar el último, o se pueden analizar por separado.</p>
<p>Subíndice de capacidad de adaptación costera</p> <p>$ICA = (IP + AR + PA + ANP) / 4$</p>	<p>Donde: <i>IP</i> = Institutos municipales de planeación, <i>AR</i> = Atlas municipal de riesgo, <i>PA</i> = Programa municipal de adaptación al cambio climático, <i>ANP</i> = Área natural protegida (Porcentaje de superficie municipal protegida).</p> <p>La suma de los cuatro indicadores normalizados se divide entre cuatro para que el valor 1 represente el máximo de capacidad de adaptación. Para relativizar los datos que llevan superficie (ANP), ésta se trabaja en relación con la superficie municipal.</p>
<p>Para cada indicador a continuación, los valores se normalizan para obtener valores adimensionales entre 0 y 1, a partir del método no paramétrico modificado de Rietveld (Nijkamp <i>et al.</i>, 1991).</p>	$PlitN_m = \frac{Plit_m - Plit_{Min}}{Plit_{Max} - Plit_{Min}}$ <p>Donde $PlitN_m$ es el valor normalizado (ejemplo con el indicador $Plit$), $Plit_m$: valor del indicador a estandarizar para un municipio dado, $Plit_{Min}$: valor mínimo de los valores del indicador $Plit_m$, $Plit_{Max}$: valor máximo de los valores del indicador $Plit_m$.</p> <p>Los valores normalizados obtenidos se agrupan en cuatro grupos con rangos definidos a partir del método de clasificación de datos conocido como “rupturas naturales (Jenks)” o “natural breaks” que provee el software utilizado en el Sistema de Información Geográfica, los cuales se clasifican como Bajo, Medio, Alto y Muy alto.</p> <p>Los cortes de clase agrupan adecuadamente los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en las cuatro clases elegidas cuyos límites quedan establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.</p>

Anexo 2. Síntesis de indicadores y subíndices utilizados para el análisis de los municipios costeros (sensibilidad).

Indicador o subíndice	Fórmula
<p>Subíndice de sensibilidad para la zona costera.</p> <p>$IS = Plit + Phum + Usuelo + Vc$</p>	<p>$Plit$ = Proporción litoral del municipio costero, $Phum$ = Demografía (número total de habitantes) en función de su tasa de crecimiento, $Usuelo$ = Tipo de uso de suelo, Vc = Vegetación costera. Proporción de vegetación costera (dunas, humedales) respecto a la longitud de costa del municipio.</p>
<p>Indicador de dimensión costera (proporción litoral del municipio costero).</p> <p>$Plit = LongC / PC$</p>	<p>$LongC$ = Longitud de la línea de costa del municipio (km), PC = Superficie de la planicie costera correspondiente a cada municipio costero (km²).</p>
<p>Indicador de demografía costera</p> <p>$Phum = Pob (TCp)$</p>	<p>Pob = Población (Número de habitantes), TCp = Tasa de crecimiento; para determinar la tasa de crecimiento se compararán los datos del censo de población y vivienda 2000 y 2010 (INEGI, 2000 y 2010).</p> <p>Una combinación del número total de habitantes y de su tasa de crecimiento de tal manera que un municipio que crece más rápidamente que otro con la misma población será más sensible.</p>
<p>Indicador de uso de suelo costero.</p> <p>$Usuelo = (Ut) pt + (Uu) pu$</p>	<p>Ut = Proporción de uso de suelo transformado (km²), Uu = Proporción de uso de suelo urbano (km²) $p(t,u)$ = Ponderador para cada tipo.</p> <p>Se utilizaron ponderadores para resaltar que la sensibilidad aumenta con el grado de transformación: $pt=1$ para uso de suelo transformado y $pu=2$ para uso de suelo urbano. Se obtiene de la capa de uso de suelo y vegetación del INEGI serie V (INEGI, 2015a) y se define como una combinación de la proporción de las diferentes categorías de uso de suelo: natural, urbano y transformado; entiéndase como transformado los usos agrícolas (donde también se incluyen los bosques, pastizales y palmares cultivados) y agropecuarios.</p>
<p>Indicador de vegetación costera.</p> <p>$Vc = (M + D + H)$</p>	<p>M = proporción de manglar respecto al área del municipio normalizada, D = proporción de duna costera respecto al área del municipio normalizada, H = proporción de humedal respecto al área del municipio normalizada,</p> <p>La suma se normaliza para obtener valores entre 0 y 1. Se define como combinación de la proporción de varios tipos de vegetación costera respecto a la longitud de costa del municipio.</p>

Anexo 3. Síntesis de indicadores e subíndices utilizados para el análisis de los municipios costeros (Exposición a tres eventos propios e importantes de la problemática costera).

Indicador o subíndice:	Fórmula
Índice de exposición histórico.	<p>Análisis utilizando el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949):</p> $H' = - \sum_{n=1}^S (p_i \cdot \log p_i)$ <p>Donde: <i>H'</i> es definido como la diversidad de eventos meteorológicos (S) que han tenido un impacto importante en los municipios costeros reportados en el DESINVENTAR. <i>pi</i>= Proporción de cada una de los eventos (i) respecto al total de eventos reportados (N) para cada uno de los municipios, <i>logpi</i>= Logaritmo natural del total la frecuencia de cada uno de los eventos reportados, Se prefirió utilizar la fuente hemerográfica DESINVENTAR y no otras bases de datos como podría ser la lista FONDEN de declaratorias de emergencias, debido a que frecuentemente que ocurre un evento, las dependencias municipales y estatales no solicitan declaratorias, y quedan sin registro dichos eventos. Esto crea un vacío de información que DESINVENTAR si cubre.</p>
Exposición a huracanes	<p>Subíndice de exposición a huracanes (IEH) se calculó para el horizonte mediano, a través de la obtención de la probabilidad de impacto de ciclones tropicales de las diferentes categorías en cada uno de los municipios. La variable principal utilizada es el registro histórico de número de ciclones tropicales en cada municipio, clasificado por categoría. En un primer paso se utilizó el número, de acuerdo al registro histórico, de eventos de diferentes categorías que pasaron por cada uno de los municipios. Esta cifra alimenta el cálculo de la probabilidad de ocurrencia para un horizonte determinado. Después se calculó el IEH a través de la suma ponderada del número de eventos de cada categoría en cada municipio, con ponderadores numéricos enteros del 1 al 7 de acuerdo a la metodología de Seingier et al. (2010) según la siguiente fórmula:</p> $IEH_m = \sum_{i=1}^7 p_i \cdot ne_{i,m}$ <p><i>IEH_m</i> = subíndice de exposición a huracanes para un municipio dado, <i>pi</i> = ponderadores, <i>nei,m</i> = número de eventos a futuro para cada categoría <i>i</i>, de acuerdo a la probabilidad, para cada municipio <i>m</i>, <i>m</i> = 1 a 271 (266 es el número de municipios costeros del país: se dividieron en dos los municipios de la península de Baja California por tener dos costas de ambos lados de la península).</p>

Anexo 3. Síntesis de indicadores e subíndices utilizados para el análisis de los municipios costeros (Exposición a tres eventos propios e importantes de la problemática costera).

Indicador o subíndice:	Fórmula
Exposición a huracanes para el futuro	<p>Paso 1 - Selección espacial con el SIG de los ciclones tropicales que han impactado las costas mexicanas. Después, los ciclones fueron clasificados por categoría según la escala Saffir-Simpson. Una vez clasificados e identificados se asignaron a cada municipio a través de uniones de base de datos. Al final, se obtuvo una capa vectorial de los municipios con el número de eventos, por categorías, que los han impactados históricamente. Como resultado se obtiene una capa vectorial de los 266 municipios costeros con la estadística del número de eventos ($ne_{i,m}$) ocurridos durante el periodo de 1949 al 2008 (60 años), clasificados por su intensidad. La fuente de datos de eventos históricos (ciclones) utilizada fue la International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Knapp <i>et al.</i>, 2010).</p> <p>Paso 2 - Tasa de excedencia. Para evaluar el impacto de los eventos hidrometeorológicos extremos a futuro, se tomó como referencia la metodología de Fuentes-Mariles <i>et al.</i> (2006) para determinar la probabilidad de ocurrencia de huracanes de diferentes categorías, en un período de retorno correspondiente al horizonte seleccionado. A partir de la estadística del número de eventos ($ne_{i,m}$) ocurridos durante el periodo de 1949 al 2008 (60 años de datos), se calculó la tasa de excedencia de categoría/intensidad (i), la cual acumula todos los niveles de intensidad i excedidos durante un evento. Por ejemplo, si se llegó a una intensidad 7 (H5) se registra también la ocurrencia del mismo evento para las intensidades inferiores. De manera sistemática, se aplicó la fórmula para calcular la tasa de excedencia $v(i)$ para cada una de las siete categorías, se usó el $ne_{i,m}$ obtenido con el SIG, lo cual se resume en la siguiente expresión:</p>
	$v(i) = \sum_{j=1}^{N-i} ne_{N-j}$
	<p>Donde N es el nivel máximo de intensidad i que se puede alcanzar (=7). Por ejemplo, si se tienen seis eventos con intensidad 2, y dos con intensidad 1, entonces, conforme a la tasa de excedencia, se tuvieron ocho casos de intensidad 1 (6+2), y seis de intensidad 2.</p>
	<p>- Tasa de excedencia para categoría 1 = depresión tropical.</p>
	$v(1) = \sum_{j=1}^6 ne_{7-j} = ne_6 + ne_5 + ne_4 + ne_3 + ne_2 + ne_1 = 0 + 0 + 0 + 0 + 6 + 2 = 8$
	<p>- Tasa de excedencia para categoría 2 = tormenta tropical</p>
	$v(2) = \sum_{j=1}^5 ne_{7-j} = ne_5 + ne_4 + ne_3 + ne_2 + ne_1 = 0 + 0 + 0 + 0 + 6 = 6$
	<p>Como los resultados anteriores corresponden a un periodo de 60 años, se procedió a dividir entre 60 los resultados obtenidos para obtener la tasa de excedencia anual para cada categoría:</p>
	<p>Tasa de excedencia anual para la categoría $i = teai = v(i) / 60$ años</p>

Anexo 3. Síntesis de indicadores e subíndices utilizados para el análisis de los municipios costeros (Exposición a tres eventos propios e importantes de la problemática costera).

Indicador o subíndice:	Fórmula
<p>Exposición a huracanes para el futuro</p>	<p>Paso 3 – Periodo de retorno $Tr (i)$. El periodo de retorno se definió como el promedio de tiempo en que vuelve a ocurrir la excedencia de cierta intensidad i. Se obtiene este promedio a través del cálculo del recíproco de la tasa de excedencia, el cual representa un valor anual: $Tr i = 1 / v (i)$</p> <p>Paso 4 - Probabilidad de ocurrencia de huracanes para el horizonte mediano. Para obtener la probabilidad de ocurrencia de huracanes para el horizonte mediano, lo que representa 60 años entre el último dato histórico y el horizonte mediano (2069), se dividió el número de años entre el periodo de retorno anual ($Tr i$). Así, se obtiene el número de eventos a futuro para cada categoría i, para cada municipio m, el cual se utiliza para el cálculo del IEH. $ne_{i,m \text{ FUTURO}} = 60 / Tr i$</p> <p>Paso 5 - Representación de resultados del IEH: Normalización y clases. Los valores de los subíndices IEH se normalizan para obtener valores adimensionales de 0 a 1, a partir del método no paramétrico modificado de Rietveld (Nijkamp <i>et al</i>, 1991). $IEHN_m$ = subíndice de exposición a huracanes normalizado para un municipio dado.</p> $IEHN_m = \frac{IEH_m - IEH_{Min}}{IEH_{Max} - IEH_{Min}}$ <p>Donde $IEHN_m$ es el valor normalizado, IEH_m = valor del índice a estandarizar para un municipio dado, IEH_{Min} = valor mínimo de los valores del índice IEH_m IEH_{Max} = valor máximo de los valores del índice IEH_m</p>
<p>Exposición a inundaciones litorales de origen marino</p>	<p>Se determinó utilizando la proporción de superficie de la planicie costera (200 metros sobre el nivel del mar) municipal propensa a inundaciones litorales de origen marino, de acuerdo a las zonas susceptibles a inundación del Atlas Nacional de México del Instituto de Geografía de la UNAM (Oropeza y Enríquez, 2007). El Atlas Nacional de México considera cuatro grandes tipos de inundaciones para el territorio nacional: 1) inundaciones continentales (desbordes fluviales en valles y llanuras), por una parte, e inundaciones litorales: 2) inundaciones en llanuras costeras, y 3) en llanuras pantanosas litorales y 4) mixto. Para la construcción del índice se consideran solamente las inundaciones de origen marino:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inundaciones litorales en llanuras costeras, 2. Inundaciones litorales en llanuras pantanosas litorales, 3. Inundaciones litorales mixto (zonas donde los dos tipos de inundaciones anteriores ocurren al mismo tiempo). $IEIMACTUAL = (ILLLa + ILPant + IMix) / SM$ <p>$IEIMACTUAL$ = Subíndice de inundaciones litorales de origen marina actual, $ILLLa$ = Superficie de inundaciones litorales en llanuras costeras $ILPant$ = Superficie de inundaciones litorales en llanuras pantanosas litorales, $IMix$ = Superficie de inundaciones clasificadas como mixtas (donde los dos tipos de inundaciones anteriores ocurren al mismo tiempo), SM = Superficie municipal</p>

Anexo 3. Síntesis de indicadores e subíndices utilizados para el análisis de los municipios costeros (Exposición a tres eventos propios e importantes de la problemática costera).

Indicador o subíndice:	Fórmula
Exposición a inundaciones litorales de origen marino	<p>El subíndice de exposición a inundaciones litorales actual - IEIMACTUAL (índice de inundaciones litorales de origen marino actual). La extensión de cada una de estas variables se obtuvo con un Sistema de Información Geográfica a través del cálculo de su geometría o área con respecto a cada uno de los 266 municipios costeros (traslape de capas vectoriales) para posteriormente calcular el porcentaje de área municipal sujeta a inundación litoral.</p>
	<p>Proyección con cambio climático</p> <p>Para las proyecciones a futuro, se tomó en cuenta el aumento relativo del nivel del mar en el cálculo del índice de exposición a inundaciones litorales de origen marino, al agregar un nuevo término IARNM en la ecuación de IEIMACTUAL, el cual se suma al primer subíndice de zonas susceptibles a inundación litoral para obtener el subíndice de exposición a elevamiento del nivel del mar a futuro. De acuerdo al planteamiento de que un municipio sufrirá un impacto más grande si está en una zona que estará afectada por el elevamiento de nivel del mar.</p> <p>$IEIMLARGO\ PLAZO = IEIMACTUAL + IARNM$ $IARNM =$ Índice de aumento relativo del nivel del mar</p> <p>Las zonas más expuestas al aumento relativo del nivel del mar (ARNM) se determinaron a partir de las anomalías del nivel del mar: diferencia entre la altura real del nivel del mar, obtenido mediante mediciones, y un nivel medio basado en una referencia matemática. Como el cambio en la vertical es muy pequeño comparado con la escala horizontal (extensión litoral de 11,000 kilómetros de costa del país), se consideró un solo horizonte, el lejano a 100 años. Las fuentes de datos identificadas para el presente apartado de datos de nivel del mar actual son el UNIATMOS y el CICESE, y para los datos del horizonte lejano a 100 años, Muis <i>et al.</i> (2016). Se utilizaron los datos del último referente a metros de aumento relativo del nivel del mar, como insumo para un SIG donde se procesaron los datos espaciales, uniones espaciales, recortes, operaciones y asignaciones de atributos de ARNM a los municipios costeros. En los casos donde el dato proyectado se compartía con otros municipios, se promedió de manera ponderada de acuerdo a la longitud correspondiente de acuerdo a la siguiente fórmula y se normalizó IARNM como IEIMACTUAL para obtener IEIMLARGO PLAZO.</p> $IARNM_m = \frac{\sum_{i=1}^j (L_i \cdot arnm_i)}{LM}$ <p>L_i = longitud de segmento de línea de costa con cierto $arnm_i$, $arnm_i$ = aumento relativo del nivel del mar correspondiente al segmento municipal, LM = longitud total de la línea de costa municipal (suma de los j segmentos). $m = 1$ a 271, número de municipios costeros del país. Son 266 municipios, pero se dividieron en dos los municipios de la península de Baja California por tener dos costas a ambos lados de la península.</p>

Anexo 3. Síntesis de indicadores e subíndices utilizados para el análisis de los municipios costeros (Exposición a tres eventos propios e importantes de la problemática costera).

Indicador o subíndice:	Fórmula
Exposición a sequía	<p>El índice de Lang, un índice termo-pluviométrico que se calcula dividiendo la precipitación media anual (en mm) entre la temperatura media anual (en °C):</p> $Pf = PP / t$ <p>Donde: <i>P</i> = Precipitación anual en mm, <i>Tm</i> = Temperatura media anual en °C</p> <p>El índice de Lang (Hubálek y Horáková, 1988), con el cual se estima la magnitud de la sequía, es un índice entendible y de fácil aplicación para su proyección a futuro y permite una evaluación de los cambios en la distribución de la sequía en el país (Sánchez-Torres <i>et al.</i>, 2011). Por esto, el índice de exposición a sequía, se calculó a través del índice de sequía de Lang tanto para la situación actual como para un horizonte y dos modelos.</p>

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Elementos para la gobernanza del agua ante la vulnerabilidad a la sequía y el cambio climático: cuencas hidrológicas con destino turístico de Baja California Sur

G. Seingier, J. C. Graciano, O. Jiménez-Orocio, M. Hallack e I. Espejel

Resumen

En Baja California Sur se ha desarrollado el corredor turístico Los Cabos el cual económicamente se ha mostrado como un éxito, pero no se muestran de la misma manera las consecuencias sociales y ambientales que dicho desarrollo conlleva. En este capítulo se analiza el efecto del cambio climático en las 20 cuencas costeras del sur del estado, con enfoque en siete cuencas de las cuales dependen las dos zonas más pobladas de la región, zonas del cual el desarrollo ha sido impulsado por el turismo. Estas cuencas donde la escasez de recurso agua causa más impacto al sector turístico son: El Migriño, San Lucas, San José del Cabo, Cabo Pulmo, Santiago (pertenecientes al municipio de Los Cabos) y dos en el municipio de La Paz: La Paz y El Coyote. Se evaluó la vulnerabilidad a la disminución de disponibilidad del recurso hídrico de las cuencas hidrológicas con destino turístico con tres componentes. El primero, de exposición, nos indica que una cuenca hidrológica con destino turístico estará más vulnerable a la disminución de disponibilidad del recurso hídrico cuando dicha cuenca tiene: 1) eventos de sequía más frecuentes, y de mayor intensidad, para cuatro periodos de retorno (de acuerdo a un análisis regional de frecuencias), 2) una disminución a mediano plazo de la precipitación media anual (de acuerdo a las predicciones del modelo GFDL_CM3) con respecto a la climatología actual. El componente de sensibilidad aumenta en el mismo sentido que la vulnerabilidad, y considera disponibilidad del recurso, demografía, demanda satisfecha, competencia por el recurso por uso, demanda y dependencia turística, uso de suelo. Al contrario, valores grandes del componente de capacidad de adaptación contrarresta los dos anteriores y disminuye la vulnerabilidad total al considerar datos de plantas desalinizadoras y de reuso del agua. Con la combinación de los tres, a través de una matriz de decisión, se obtiene clases del índice total de vulnerabilidad. Visualizar estos resultados de forma comparativa y con escenarios futuros permitirá mejorar la gobernanza de la ciudades y aprender de las lecciones que muestran estas ciudades costeras de zonas áridas.

Palabras claves: Baja California Sur, cambio climático, sequía, turismo, vulnerabilidad.

Introducción

El modelo de crecimiento turístico en zonas costeras áridas requiere de un replanteamiento ante escenarios de cambio climático. Asimismo, la gobernanza en la toma de decisiones de este sector y de estos sistemas socio-ecológicos, requiere un sistema de información visual y comparativo para poder tomar decisiones basadas en las lecciones aprendidas hasta ahora.

El corredor turístico de Los Cabo San Lucas-San José del Cabo es un caso que podría representar lo que el turismo de “sol y playa” ha construido en las costas del país en cuanto a la problemática del consumo del agua en las zonas turísticas. A diferencia de la Riviera Maya o la Riviera Mexicana, en este corredor turístico no hay abundancia de agua. La solución, o adaptación, ha

sido basar la disponibilidad de agua en infraestructura costosa como la desalinización del agua de mar. Aun así, proveyendo este recurso vital, los desarrollos turísticos revelan serias inequidades en el suministro del líquido. Hay disparidad en el consumo de agua según el tipo de establecimiento, entre zonas hoteleras y zonas residenciales, y entre tipos de zonas habitacionales (se entrega hasta una vez al mes en ciertas zonas). Este contexto genera una vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso, a su disminución, la cual se propone abordar desde tres componentes: sensibilidad (disponibilidad, demografía, satisfacción de la demanda, competencia entre usuarios, demanda turística, dependencia turística, capacidad de recarga); capacidad de adaptación (plantas desalinizadoras y reúso de agua); y exposición a sequía y a cambio climático.

Para los escenarios climáticos, por la escala en que se manejan los datos, la región de

análisis consideró el sur del estado, desde la zona donde está la capital de estado, La Paz, y el resto de las cuencas del sur del estado, con una concentración sobre el corredor de interés Los Cabos-San José del Cabo (figura 1). En toda la región, el modelo del corredor de Los Cabos-San José del Cabo se replica de una forma preocupante especialmente en este tema de disponibilidad de agua ya que los escenarios de cambio climático indican una disminución de la misma. La región no solo depende del agua de mar, sino de la energía, de los alimentos y de la fuerza de trabajo de inmigrantes.

En este capítulo se proponen una serie de indicadores y la metodología correspondiente para evaluar la vulnerabilidad a la disminución de disponibilidad del recurso hídrico ante la sequía y el cambio climático, con un enfoque hacia la vulnerabilidad del sector turístico, promotor del desarrollo en la región sur del estado de Baja California

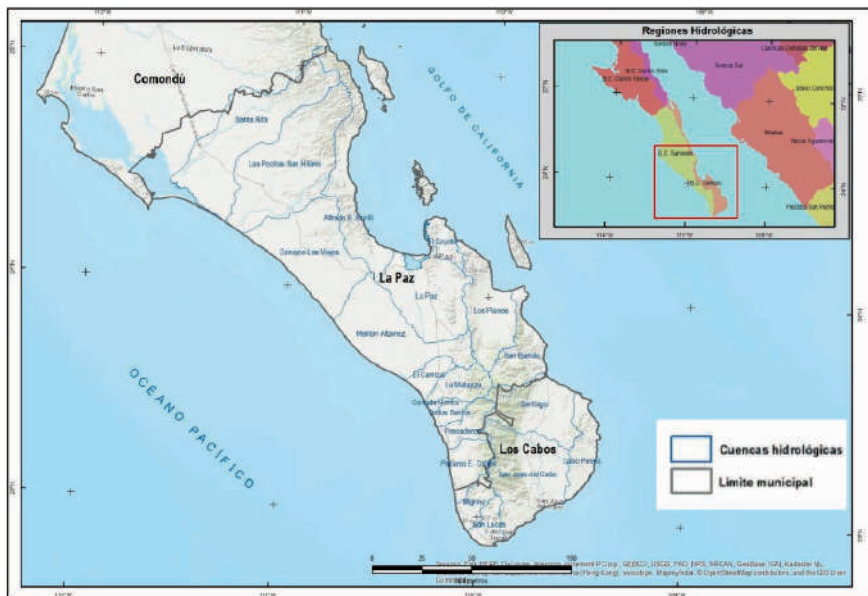


Figura 1. Cuencas hidrográficas de la región Los Cabos-La Paz.

Sur y sector preocupado por la limitante que representa la escasez del recurso hídrico. Para esta escala de trabajo y enfoque se consideraron como unidades de medición, las cuencas hidrológicas costeras del corredor Los Cabos-San José del Cabo, para las

cuales se construyó un modelo de indicadores compuesto de tres tipos: indicadores de exposición, indicadores de sensibilidad e indicadores de capacidad de adaptación (figura 2).

Metodología propuesta

En las tablas 1 y 2 se resumen los indicadores y las formas de calcularlos. Se explican algunos indicadores utilizados para justificar su inserción en los cálculos.

Sensibilidad

Para estimar la sensibilidad del sector turístico en una región de escasa precipitación, se consideraron siete indicadores de sensibilidad: disponibilidad, demografía, demanda satisfecha (social), competencia intersectorial, demanda y dependencia turística y cambio de uso de suelo (tabla 1).

El estrés o grado de presión hídrico suele asociarse principalmente a la poca disponibilidad del recurso o a cuando la cantidad de agua demandada supera a la cantidad o capacidad de retención de agua. En este caso, ambos elementos inciden directamente sobre el grado de presión del recurso y se tiene una baja captación de aguas subterráneas. A nivel nacional se tiene estimado un bajo grado de presión hídrica (19.2 %), mientras que BCS tiene un alto grado de presión (76 %) al igual que dos terceras partes del país (CONAGUA, 2010). Para

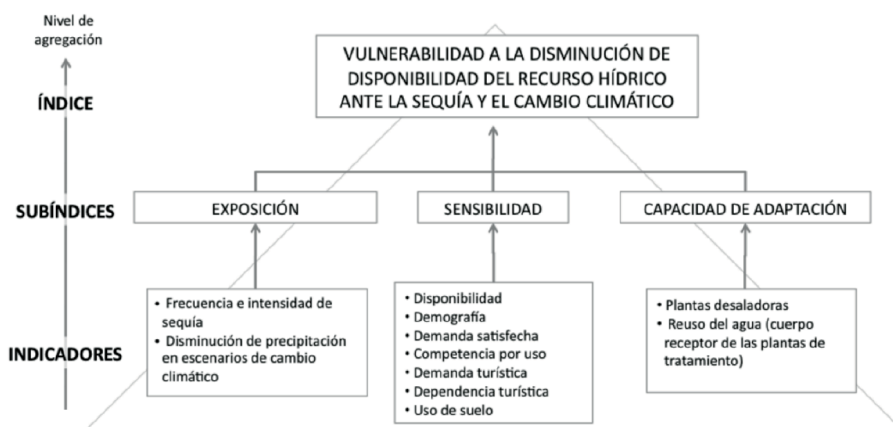


Figura 2. Resumen de la construcción del modelo de vulnerabilidad a la disminución de disponibilidad del recurso hídrico ante la sequía y el cambio climático a partir de los indicadores seleccionados.

Tabla 1. Resumen de los diferentes indicadores para cada componentes (subíndices de sensibilidad).

Subíndices e indicadores	Explicación
I. Sensibilidad del sector turístico: En una región de escasa precipitación y turística, se consideraron siete indicadores de sensibilidad.	
1. Disponibilidad se entiende como la capacidad de recarga de los acuíferos, o volumen de recurso hídrico recargado.	Se agrupan en cinco categorías donde la zona con más déficit es la más sensible, a la cual se asigna el valor cinco.
2. Demografía , es una combinación del número total de habitantes y de su dinámica poblacional (tasa de crecimiento).	Un municipio que crece más rápidamente que otro con la misma población será más sensible.
3. Demanda satisfecha (social).	Calculada a partir del volumen de agua de uso doméstico por día, por persona y por cuenca.
4. Competencia intersectorial.	Se calcula a partir de los volúmenes concesionados para cada acuífero del estado de Baja California Sur (RPDA de la Comisión Nacional del Agua). Se utiliza la información por acuífero y por uso final del agua. Para determinar las cuencas con mayor competencia intersectorial, se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949), aplicado a ocho sectores: agrícola, pecuario, comercio, diferentes usos, doméstico, industrial, público urbano y servicios.
5. Demanda del recurso.	Se utilizaron: uso "Público Urbano", y el "uso doméstico" de acuerdo al RPDA.
6. Dependencia al recurso hídrico , refleja la dependencia económica de la población con respecto al sector turístico a través del porcentaje obtenido.	Dependencia del recurso por parte de la población. Se calculó con el número de personas ocupadas en servicio de hoteles, restaurantes y bares por cuenca (DENUE, 2016), entre el total de habitantes de la cuenca. Dependencia del recurso por parte del sector turismo. Se utilizaron las categorías de los establecimientos turísticos (DENUE, 2016). Se considera el tipo de hotel ya que aquellos que cuentan con todos los servicios usan más agua. Se calcula con un ponderador que indica el impacto derivado de los volúmenes utilizados por los distintos usos/usuarios. Se asigna el ponderador de acuerdo al tamaño (número de empleados) del establecimiento turístico: es 1 si el establecimiento cuenta de 1 a 10 empleados, 2 de 11 a 50 empleados, 3 de 51 a 100, 4 de 101 a 250, y 5 si el establecimiento emplea más de 251 personas.
7. Cambio de uso de suelo.	Se calculó como pérdida de vegetación natural en un periodo (2000-2010), el área en kilómetros cuadrados se pasa a porcentaje de la superficie total de la cuenca.

el año 2025 se estima que la región supere 80 % de grado de estrés hídrico (Wurl et al., 2017). El no tener acceso al agua se considera como una componente social de la sensibilidad a la disminución de la disponibilidad del recurso. Para el caso de Mé-

xico, el Registro Público de los Derechos de Agua (REPDA) define cinco principales tipos de uso concesionado en la zona de estudio: a) público-urbano, b) agrícola, c) múltiple, d) pecuario y e) servicios. El uso Público Urbano es de los más importan-

Tabla 2. Resumen de los diferentes indicadores para cada componentes (Subíndices de capacidad de adaptación y exposición).

Subíndices e indicadores	Explicación
<p>II. La capacidad de adaptación estima la presencia o ausencia de instrumentos para resolver la problemática de la escasez de agua.</p>	
<p>1. Plantas desalinizadoras.</p>	<p>La presencia de plantas desalinizadoras refleja una fuente de abastecimiento alterna. También es un instrumento técnico para la disminución de la extracción de agua de los acuíferos en los principales núcleos de población.</p>
<p>2. Cuerpos receptores de plantas de tratamiento.</p>	<p>Se diferenciaron los cuerpos receptores de las plantas de tratamiento en la cuenca. Para el sector turístico, la mejor capacidad de adaptación corresponde, por orden de importancia, a campo de golf (4), riego de áreas verdes (3), seguido por infiltración al (sub)suelo y a arroyos (2), y agrícola (1), de acuerdo al papel que juegan en la disminución de la demanda a través del reúso del recurso agua.</p>
<p>III. Exposición. Se evaluaron dos aristas de la problemática:</p>	
<p>1) Eventos extremos de lluvias, o sequía, esperadas para un periodo de retorno en un futuro cercano y mediano.</p>	<p>Se utilizó el índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y la herramienta del “Monitor de Sequía de América del Norte” para determinar la intensidad de la sequía. El análisis regional de frecuencias utilizó la técnica de L-momentos, ya que fue el que mejor se ajusta a las necesidades y la carencia de información de precipitación que se tiene en México. Los eventos de sequía extrema son aquellos esperados a ocurrir con una frecuencia de una vez en 100 años. Para la estimación de proyecciones de precipitación se utilizó la metodología de Hosking y Wallis (1997): 1) análisis de datos (preparación, revisión y formato de datos), 2) identificación de regiones homogéneas, 3) selección de distribución de frecuencia regional, 4) estimación de cuantiles y 5) cartografía.</p> <p>El período de retorno, utilizando métodos geoestadísticos (Kriging), se interpoló y se recortó por cuenca. La información sobre precipitación se obtuvo del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III) producto comercial del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Cada dato de precipitación se ajustó a la probabilidad encontrada con la distribución Pearson Tipo III y se comparó con la precipitación media anual de la cuenca, para posteriormente obtener el valor de evento extremo de sequía por cuenca en un periodo de retorno x ($x = 2.5, 5, 10$ y 20 años), o sequía a futuro en corto y mediano plazos.</p>
<p>2) Comparación de la climatología actual con los escenarios de dos modelos de cambio climático para estimar la tendencia general a futuro.</p>	<p>Se comparó la climatología actual con los escenarios de los modelos de cambio climático para estimar la tendencia general a futuro, utilizando los modelos GFDL_CM3 y MPI_ESM_LR por ser los más contrastantes para emisiones altas en el horizonte de futuro medio. Los datos fueron promediados por cuenca a partir de los valores por pixel proporcionados por la plataforma del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (UNIATMOS).</p> <p>Para ambos modelos, se estimó el valor promedio anual para escenarios de lluvia.</p> <p>Para las siete cuencas de influencia de la zona, se asigna una clase “Baja” a un aumento de entre 0 y 35 mm de la Exposición a disminución de disponibilidad por Cambio climático, y clase “Alta” para una reducción de hasta 35 mm.</p>

tes dentro de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y es definido como la aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos, a través de la red municipal. El uso público urbano debe tener prioridad sobre los demás tipos de uso.

Capacidad de adaptación

La capacidad de adaptación estima la presencia o ausencia de instrumentos para resolver la problemática de la escasez de agua (tabla 2). Un instrumento para resolver el problema de la escasez de agua que se ha utilizado en la región de Baja California Sur es la desalinización del agua de mar con plantas desalinizadoras, la cual es facilitada por el carácter costero del estado, y de la ubicación de los centros de población y de los centros turísticos en el litoral. Derivado de esto y de las condiciones limitadas de fuentes de abastecimiento, la desalinización de agua de mar y salobre, es la fuente de abastecimiento alterna, y es uno de los objetivos del Programa Hídrico Estatal 2015-2021 del Estado de Baja California Sur, particularmente para los desarrollos turísticos y para algunos centros de población (CEA, 2015). También mencionan el problema de que algunas no están funcionando por falta de recursos o capacitación o mantenimiento. La desalinización de agua de mar y salobre, funciona también como un instrumento técnico para la disminución de la extracción de agua de los acuíferos en los principales núcleos de población del Estado.

El segundo indicador considera el o los cuerpos receptores de las plantas de tratamiento en la cuenca, diferenciándolos según el papel que juegan en la disminución de la demanda a través del reúso del recurso agua, marcando los cuerpos receptores relacionados al uso doméstico, al sector primario productivo, y a la actividad

turística. Dicha información se encuentra disponible en el Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación (CONAGUA, 2015b). La designación de un cuerpo receptor u otro beneficiará a un sector u otro: cuerpos receptores como *riego de forrajes o riego agrícola* se relacionan al sector primario productivo; cuerpos receptores como *campo de golf* se relacionan al sector turístico característico de la región Cabo San Lucas-Los Cabos; cuerpos receptores como *riego de áreas verdes* se relaciona al sector urbano público; por otra parte cuerpos receptores como *infiltración al (sub)suelo* y a *arroyos* benefician a todos los sectores indirectamente, mientras que cuerpos receptores como el *océano* no beneficia a ningún sector.

Exposición

Sobre la exposición y los escenarios de exposición, Baja California Sur es particularmente vulnerable a la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico por ser uno de los estados con menor reserva de agua para consumo humano, debido a su geografía, clima semidesértico, escasa precipitación e insuficiente recarga en los mantos acuíferos (CONAGUA, 2015a). Este escenario es más preocupante cuando el ciclo hidrológico se ve afectado por fenómenos hidrológicos, como es la sequía. Aunado a esto, se han registrado en las últimas décadas registros de varios años deficitarios de lluvias, cuya frecuencia y severidad se han incrementado, muy probablemente como consecuencia del cambio climático global (IPCC, 2013). La variabilidad interanual de lluvias aunado a los impactos por los fenómenos hidrometeorológicos, como las sequías, pueden trascender negativamente en la capacidad de adaptación de una ciudad y con las diversas estrategias que la

población tiene para lidiar con el fenómeno, especialmente en zonas semiáridas y propensas a las sequías (Meza *et al.*, 2010). El índice de sequía utilizado solo indica el inicio y duración de un período seco. Para estimar su frecuencia, fue necesario estimar los períodos de retorno de dichas condiciones para un área de estudio determinada. La frecuencia e intensidad de lluvias en las cuencas hidrológicas de los municipios de La Paz y Los Cabos a través de un análisis regional de frecuencias permite estimar los eventos extremos de lluvias, o sequía, esperadas para un periodo de retorno en un futuro cercano y mediano (tabla 2).

El análisis de frecuencias es el procedimiento utilizado para interpretar un registro de sucesos hidrológicos acontecidos, está en función de las probabilidades que ocurra un evento futuro extremo como lo es la sequía o creciente. Es llamado análisis regional de frecuencias ya que los datos utilizados en el estudio corresponden a la misma variable distribuida espacialmente en sitios (estaciones) dentro de una región o una zona determinada. El análisis regional de frecuencias que se realizó en este estudio fue basado en la técnica de L-momentos, por ser el que mejor se ajusta a las necesidades y la carencia de información de precipitación que se tiene en México. La razón de ser de este método consiste en que los registros de las estaciones que se encuentra dentro de una región homogénea se agregan a un solo gran registro, el cual sirve para aumentar la precisión en el momento de estimar los cuantiles (períodos de retorno). De este modo, hace que las carencias de los registros cortos de las estaciones sean compensadas con ayuda de los otros registros dentro de la región homogénea (Hosking y Wallis, 1997). Por lo tanto, el análisis regional de frecuencia tiene como

objetivo obtener estimaciones de cuantiles, es decir, las probabilidades asociadas a los periodos de retorno de interés, que permitan demostrar cuales son zonas más vulnerables en comparación a otras ante un déficit de precipitación de la misma magnitud, y así, responder preguntas como: ¿Cuál es la precipitación que podemos esperar para un período de retorno determinado? Los datos utilizados para el análisis regional de frecuencias fueron de precipitación mensual, de 36 estaciones climatológicas activas ubicadas en 20 cuencas a lo largo de los municipios de La Paz y Los Cabos.

Los escenarios regionales son importantes debido a que con esta información se pueden obtener, a su vez, escenarios para los diferentes sectores socio-económicos como agua, agricultura, turismo, entre otros. En este caso de estudio, se ha resuelto utilizar los modelos individuales a nivel cuenca hidrológica, ya que son las principales formas terrestres que se pueden tomar como unidad para analizar el ciclo hidrológico de tal forma que dicha superficie capta y concentra el agua de lluvia. Se seleccionaron dos modelos individuales de circulación general GFDL_CM3 y MPI_ESM_LR por ser los más contrastantes para emisiones altas en el horizonte de futuro medio (2045-2069) individuales de circulación general. El modelo GFDL_CM3 fue desarrollado por la institución Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) de Estados Unidos de América, y el segundo modelo MPI_ESM_LR fue desarrollado por Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M) en Alemania. Si se considera que un escenario sucede, al mismo tiempo que un desastre natural, como la sequía, entonces se presenta una situación compleja en cuanto a disponibilidad de agua en la zona afectada, especialmente si no se está preparado.

Resultados y problemática identificada

Índice de Sensibilidad

El resultado final de este índice para las 20 cuencas estudiadas se muestra en la figura 3. El valor máximo teórico que se puede obtener, siete, corresponde a una cuenca con valor resultando de la combinación de nuestros siete índices: poca disponibilidad

hídrica, alta concentración demográfica, demanda social insatisfecha, competencia intersectorial, patrones intensivos de demanda de agua, alta dependencia económica del sector turismo y cambio de uso de suelo. San Lucas es la que obtuvo el índice más alto (valor 5), seguido por San José

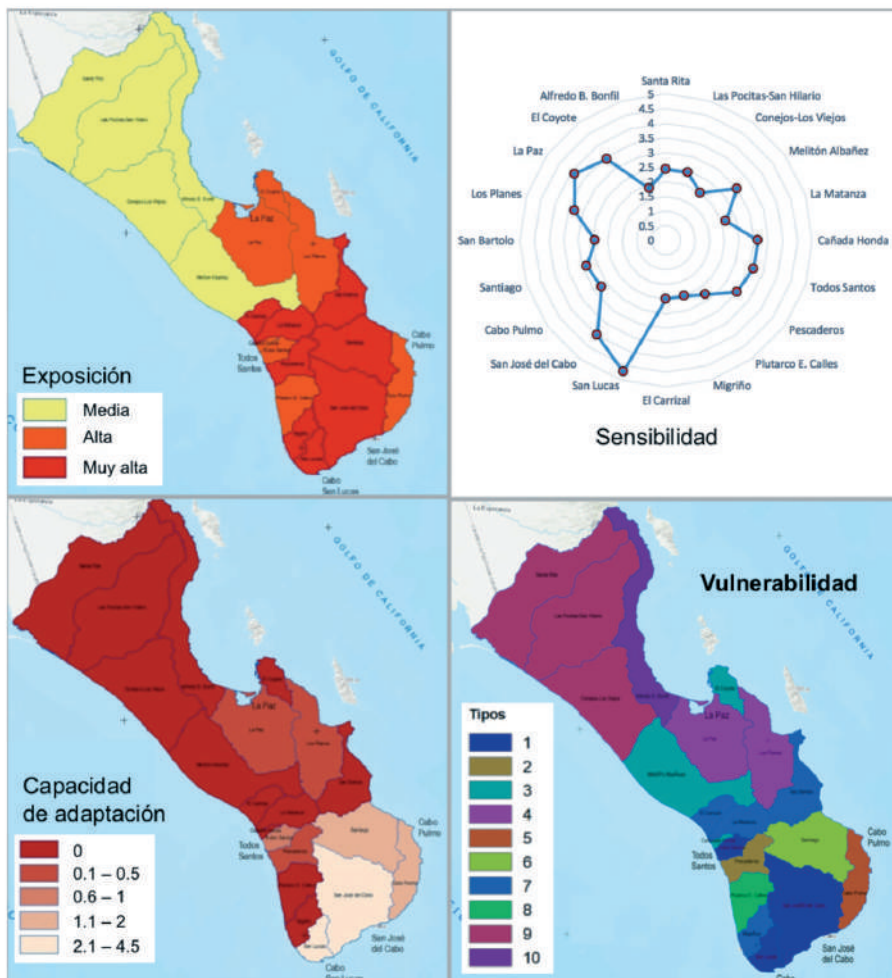


Figura 3. Subíndices de sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación por cuenca en la región de estudio, y resultado de su combinación para elaborar los tipos de vulnerabilidad de las cuencas a la disminución del recurso hídrico ante la sequía y el cambio climático.

del Cabo, y La Paz. En estas tres cuencas se concentra la población y la actividad turística. Dicha combinación de elementos nos permite señalar que las cuencas que abastecen el corredor turístico Cabo San Lucas-San José del Cabo son por mucho donde el índice de sensibilidad es mayor.

Disponibilidad del recurso hídrico

De manera general, los acuíferos que abarcan la zona de estudio pertenecen a dos regiones hidrológicas: la Región Hidrológica 3 denominada “Baja California Suroeste (Magdalena)”; y la 6 denominada “Baja California Sureste”, cuenca La Paz-Cabo San Lucas, dentro de las Subcuencas “a” Cabo San Lucas, “b” río San José y “c” del Valle de Santiago; siendo las dos últimas las de principal importancia (CONAGUA, 2015a).

La disponibilidad del recurso hídrico DR, más específicamente la disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica, se obtuvo de las publicaciones en el Diario Oficial de la Federación (2015) de las actualizaciones de la disponibilidad media anual en los acuíferos por parte de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En este caso el dato es por acuífero, mientras que los demás indicadores son por cuencas. En la región los límites de ambos son casi iguales lo que permite usar los datos disponibles.

Se justifica enfocarse en el municipio de Los Cabos el cual refleja la problemática de la región, donde la presión antropogénica, mayormente turística, es más fuerte. Sus cinco acuíferos, de tipo libre y costero: San José del Cabo, Migriño, Cabo San Lucas, Cabo Pulmo y Santiago, están sujetos al Decreto de veda de tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros, publicado en

el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de julio de 1954. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2013, el municipio Los Cabos se clasifica como zona de disponibilidad 4 (CONAGUA, 2013). Cabe resaltar que el acuífero San José del Cabo, es el único que cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS); para el caso del acuífero de Santiago se pretende que COTAS de San José del Cabo lo instrumente (CONAGUA, 2015a). La permeabilidad de las unidades San José del Cabo y Santiago (consideradas las más importantes en cuanto a disponibilidad del recurso agua) es catalogada de “buena” a “media”, lo que facilita el almacenamiento de agua subterránea, debido a los valores altos de precipitación de sus zonas serranas. No obstante, el suelo dominante en las superficies restantes del área de estudio, es catalogado como Regosol y Xerosoles, típicos de zonas áridas y cuyas características son la baja fertilidad y retención de humedad, lo que dificulta la recarga de los acuíferos. El acuífero de San José del Cabo, al ser el más importante de la zona, es también el más afectado en cuanto a déficit. Ello, debido a que abastece al corredor turístico y casi al 90 % de la demanda de la población de Cabo San Lucas y de San José del Cabo, incluyendo el corredor turístico y su zona hotelera.

En su última actualización, CONAGUA estima una recarga conjunta de los acuíferos que conforman el municipio de Los Cabos de 66.2 Mm³ anuales; de los cuales el acuífero de SJC aporta el 54 %, Santiago el 37 %, el 9 % restante los aportan los otros acuíferos.

En conjunto, los volúmenes concesionados por tipo de uso de los acuíferos que comprenden los municipios del corredor turístico Los Cabos (San José del Cabo,

Migriño, Cabo San Lucas, Cabo Pulmo y Santiago) dejan clara la sobreexplotación y la sobre-concesión de la zona.

Demografía

Se encontró que las cuencas de San Lucas y San José del Cabo son las con más habitantes y con un crecimiento de 7 o 8 % en una década el cual se puede ligar a la actividad turística de la zona. Se ve la concentración de los habitantes en dichas zonas urbanas. También destaca otra región, de Melitón Albañez, no tanto por su número de habitantes, pero por su crecimiento, asociado a su desarrollo agrícola (Graciano, 2013).

En términos de sensibilidad, las zonas más densamente pobladas, y que además crecen más rápidamente que otras, son más sensible a una disminución de la disponibilidad del recurso agua.

En la región más dinámica del municipio de Los Cabos, el censo población del año 2000 reportaba una población de 69 mil habitantes, la cual creció para el año 2010 a 238 mil habitantes, de los cuales 64 % no nació en la entidad y proviene principalmente de los estados de Guerrero (22 %), Sinaloa (17 %), Ciudad de México (9.9 %), Estado de México (5.2 %) y Jalisco (5.5 %). En el censo anterior (2000), esta cifra representaba solo 48 %, lo que denota un crecimiento al alza en la migración de personas a dicha localidad. De acuerdo con CONAPO (2014), se estima que la población en el área de Los Cabos, llegue a las 464 mil personas para el año 2030.

Satisfacción de la demanda

Los cálculos de la satisfacción de la demanda revelan que hay cinco cuencas que tienen menos del mínimo recomendado

por la Organización Mundial de la Salud (OMS), demanda no satisfecha, una de la cual es la zona de Cabo San Lucas.

Si bien la OMS establece que el acceso óptimo es el consumo de una cantidad promedio de 100 litros por persona de agua abastecida de manera continua a través de varios grifos en el que se atienden todas las necesidades de consumo e higiene, hay que hacer notar que si bien en la región al parecer la demanda está satisfecha de acuerdo a nuestros cálculos basados en datos disponibles en la mayoría de los lugares, los turistas no entran en el conteo de número de habitantes, y en general los que se hospedan en hoteles consumen más agua que los residentes. Se sabe que los actuales patrones de consumo de agua en las zonas turísticas del país generan escenarios de inequidad, entre tipos de hoteles, pero especialmente con los residentes.

En efecto, según las propias estimaciones del Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Los Cabos (OOMSAPALC) existe una población de al menos 57 mil personas que viven bajo una condición de abastecimiento severo de agua, es decir poco más de la mitad de la población sanluqueña; la mayor parte se encuentra en zonas conurbadas de la ciudad. No obstante, la cifra es muy conservadora. Las estimaciones de población obtenida por Áreas Geoestadísticas Básica (AGEB) y fuente de abastecimiento muestran que poco más de 100 mil habitantes dependen de la fuente más precaria e intermitente, como lo es la planta desalinizadora que, a pesar de ser la más grande del país, resulta insuficiente para las necesidades de esta población.

Competencia intersectorial por el recurso

La competencia intersectorial se refleja en el volumen concesionado a cada uso/sector consumidores de agua en la cuenca y representa la competencia por el recurso hídrico, y la dominancia de un sector en el aprovechamiento del agua, por cuenca. Una mayor diversidad de usuario representa una competencia intersectorial y entonces un sistema más complejo de gestión y de allí más sensibilidad en caso de disminución de disponibilidad.

El uso asociado al sector turístico es difícil diferenciar, por estar incluido tanto en el sector servicios como en diferentes usos, comercio, público urbano y servicios. En general el uso que representa competencia con el sector turístico en la región es el uso agrícola.

Dependencia turística del recurso hídrico

Los más grandes establecimientos turísticos son consumidores de muchos volúmenes de agua por contar con albercas, regaderas de uso continuos, baños de vapor, jacuzzi, etc. La interpretación de este indicador de sensibilidad indica que entre mayor sea la actividad turística en la cuenca, mayor dependencia al agua y mayor consumo de agua.

Baja California Sur cuenta con 352 establecimientos dedicados al hospedaje compuestos casi en su totalidad por hoteles ubicados principalmente en el corredor costero turístico Cabo San Lucas-San José del Cabo. Los Cabos cuenta con 121 establecimientos que ofrecen 15 mil cuartos de hotel, equivalentes a 74 % de la infraestructura hotelera estatal, permitiéndole captar 84 % de los turistas en el estado (INEGI,

2014; SECTUR, 2014). Una de las principales características de Los Cabos es que casi 80 % de sus cuartos de hotel son de cinco estrellas, hoteles de lujo y gran turismo.

Otros indicadores de turismo muestran que el destino turístico tiene dos marcadas tendencias con respecto a los visitantes y la ocupación hotelera, según los datos oficiales de INEGI y SECTUR: los turistas que visitan el destino turístico son mayormente no residentes del país (más del 70 %), y la tendencia de alojamiento son hoteles de cinco y cuatro estrellas, con una estadía promedio de 4.6 noches por turista y con cierta preferencia por Cabo San Lucas.

Los actuales patrones de consumo de agua en Los Cabos por parte de los desarrollos turísticos revelan serias inequidades en el suministro del líquido. Cabe resaltar, que no todos los cuartos de hotel tienen el mismo nivel de consumo de agua, dado que esto depende de la cantidad de servicios con los que dicho establecimiento cuente. Los hoteles se clasifican en cinco categorías, en función de ellas debe reunir una serie de requisitos mínimos. Entre mayor sea la categoría de un hotel, mayor será el número de servicios que ofrezca. Por tanto, una habitación de un hotel de 5 estrellas o gran turismo, tendrá un mayor consumo con respecto a un hotel menor categoría. 90 % de la oferta de cuartos de hotel son de 5 y 4 estrellas (80 % y 10 %, respectivamente), cuya principal característica son instalaciones de lujo, así como servicios superiores y excepcionales (como tamaño grande de habitaciones, áreas para reuniones, instalaciones deportivas, servicios de SPA, piscinas, actividades recreativas, áreas verdes, estacionamiento y elevadores entre muchos otros).

Dependencia de la población del sector turístico

Para las cuencas de la zona, se observa un mayor porcentaje de población activa dedicada o asociada al sector turismo en las tres cuencas del sureste donde se encuentran los desarrollos turísticos. En el municipio de los Cabos, los datos de los dos últimos censos económicos (2009 y 2014) a nivel municipal permiten inferir que una cuarta parte de la población económicamente activa trabaja de forma directa en el sector hotelero y restaurantero, al pasar de 23 mil a 25 mil empleos directos en cinco años. Asimismo, se estima que una porción importante del sector comercio y subsectores como el transporte turístico dependen directamente de la actividad turística, tendencia que continúa creciendo de acuerdo a los datos del último censo económico (Ivanova *et al.*, 2012; INEGI, 2014).

En conjunto, todas las actividades económicas ofrecen 69 780 empleos, 36 % de ellos en el sector de servicios de alojamiento temporal, de servicios y preparación de alimentos. De esos empleos, 71% se ubica en el subsector 721 (servicios de alojamiento temporal); seguido de comercio al por menor y al por mayor, respectivamente.

Cambio de uso de suelo

Las zonas agrícolas y urbanas o en vías de urbanizarse como Todos Santos son las que muestran mayor cambio de uso de suelo y por ello su vegetación queda en la categoría de transformada. Toda la zona norte de la zona de estudio conserva su vegetación natural, aún en la costa (figura 4).

Índice de capacidad de adaptación

Este es el índice que más importa en términos de gobernanza por ser el sobre cual se

pueden implementar políticas ambientales para mejorar la situación y reducir la vulnerabilidad a la sequía.

Plantas desalinizadoras en la cuenca

El municipio de Los Cabos cuenta con 72 concesiones para desalinización reconocidas por CONAGUA. De acuerdo a los datos obtenidos por acuífero y municipio solo fue posible ubicar 31 títulos de esas 72 concesiones, lo que no hace posible saber desde cuando cuentan con dicha concesión y cuál fue el uso que se le otorgó. La zona centro y turística de Cabo San Lucas concentra cerca de la mitad de estas plantas y el resto se ubica sobre el corredor turístico, zonas aledañas a San José del Cabo y en litorales del Cabo del Este. Su distribución en la zona es exclusivamente en la franja muy costera, con un costo que incrementa rápidamente con la distancia al mar, lo que nos recuerda la gran limitación geográfica de esta solución.

Cuerpo receptor de las plantas de tratamiento

En la región se registran once tipos de cuerpos receptores de las plantas de tratamiento: infiltración al (sub)suelo, riego de forrajes, riego agrícola, riego de praderas, campo agrícola, arroyo, campo de golf, campo de golf y áreas verdes, riego de áreas verdes, golfo de California (Mulegé) y no disponible. Dichos cuerpos receptores se pueden agrupar y relacionar a seis sectores beneficiados por estas acciones de adaptación (figura 5). Resaltan dos sectores principalmente beneficiados: el sector primario productivo (agropecuario en los municipios de Comondu y La Paz) y el turístico (municipios de Loreto y Los Cabos) con 45 % y 39 % respectivamente (del total

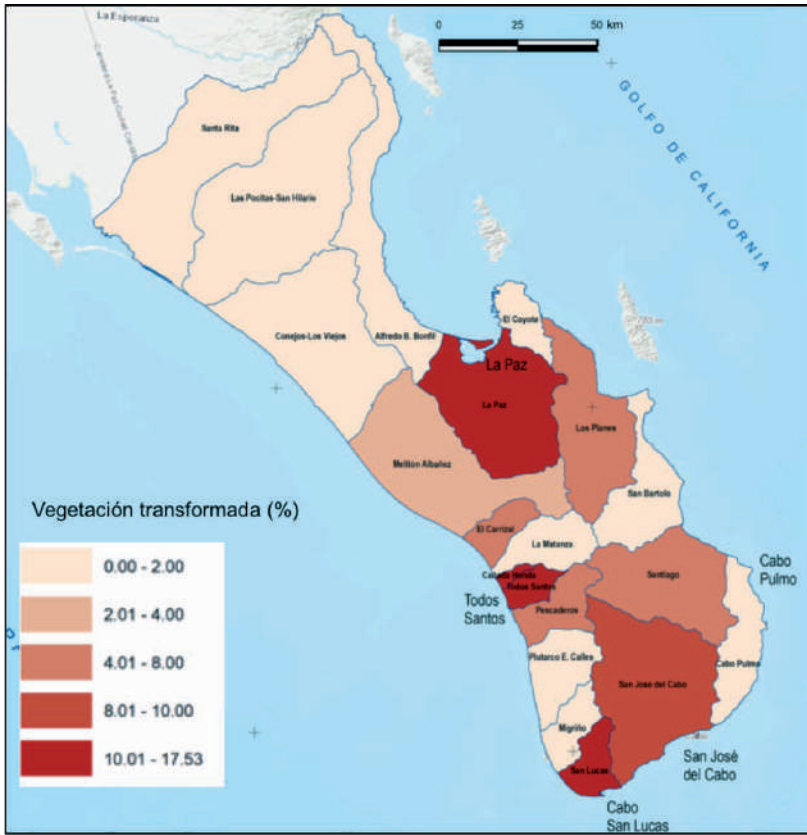


Figura 4. Modificación de cobertura de vegetación natural (INEGI 2015a).

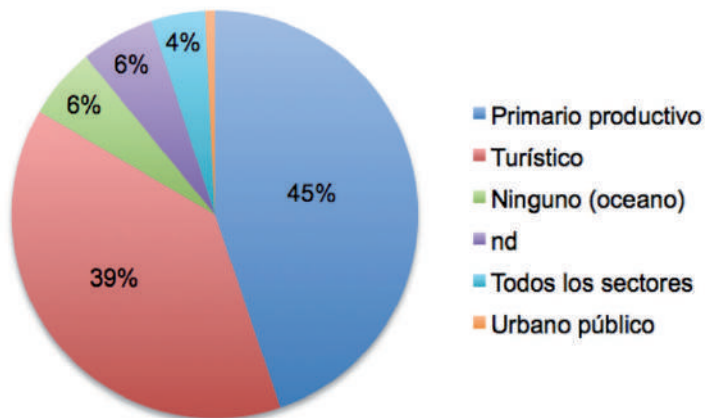


Figura 5. Sectores beneficiados por el cuerpo receptor o tipo de reuso de las plantas de tratamiento: % de l/s del caudal tratado de un total de 28 plantas municipales de tratamiento de aguas residuales activas (CONAGUA, 2015b).

del caudal tratado de 1 242 l/s). El urbano público es en este sentido el menos beneficiado. La categoría que beneficia a todos los sectores (infiltración) representa solamente el 4 %, mientras que se “desperdicia” 6 % al descargar al océano. Cabe mencionar la categoría No disponible de 6 % del mismo orden de magnitud que otras tres categorías, recordando la importancia de la recolección sistemática de los datos para mejores toma de decisión.

Exposición

En el caso particular de Baja California Sur para el último año, el monitor de sequías de Norte América ha capturado para la última década (2007-2017) condiciones anormalmente secas para las cuencas hidrográficas ubicadas en la región sur de la península de Baja California.

Exposición a sequía: Estimación de frecuencia e intensidad de sequía

Para la región de la península de Baja California, cuencas en la región sur, para un período de retorno de 100 años se observa en promedio una probabilidad (cuantil) de 0.411760 lo que implica precipitaciones tan bajas como 86.1 mm (210 mm precipitación media anual (PMA) en promedio para todo el estado.

Ahora, de acuerdo a Núñez *et al.* (2016) para la región de estudio correspondiente al sur de Baja California Sur, una sequía moderada es la que implica una disminución del 20 % de la precipitación media anual, que en este caso es esperada que ocurra con una frecuencia de entre 0-14 años. Sin embargo, una sequía extrema para esta misma región es esperada en una frecuencia menor a la normal de 100 años, aproximadamente en 80 años con un promedio de 50 años para una disminución en precipitación del

80% que corresponde a aproximadamente 42 mm de lluvia en un año.

En el caso de las cuencas hidrológicas ubicadas en los municipios de La Paz y Los Cabos se observan disminuciones de 20 %, 35 %, 60 % y 70 % para los períodos de retorno de 2.5, 5, 10 y 20 años respectivamente. Por ejemplo, para la cuenca Cabo Pulmo se espera que ocurra un déficit de aproximadamente 57 y 187 milímetros de precipitación media anual, tan pequeña como 217 mm y 88 mm, en 2.5 años y 20 años respectivamente, pero con gran significado para zonas donde la precipitación ya es muy baja. Los cálculos son con respecto a la precipitación media anual de un año considerado normal.

El análisis de la precipitación media anual para los períodos de retorno de sequía analizados muestran una disminución en precipitación que varía entre 100 y 200 mm en promedio al año. Esto se espera que ocurra por lo menos una vez en 10 años. Sin embargo, para las cuencas de influencia en La Paz se esperan lluvias entre 0 a 100 mm que suceda por lo menos una vez cada 20 años, mientras que en Los Cabos varía entre 0 y 200 mm. Este último puede también verse afectado por la incidencia de tormentas tropicales y huracanes.

En un análisis previo realizado por Núñez *et al.* (2016) se observó que la península de Baja California es una de las zonas más críticas del país, por lo que la frecuencia de un fenómeno hidrometeorológico como la sequía ocasiona que solo precipite el 80 % de la precipitación media anual de un año normal es de por lo menos 1 cada 3 años. Esto también se le conoce como déficit a la disminución de la precipitación media anual contra la precipitación media anual en un año considerado normal. Al haber sometido las precipitaciones medias anua-

les a un déficit del 40 % que es igual al 60 % de la precipitación media anual se percató que indudablemente la península de Baja California es la zona más crítica del país porque cuenta con zonas donde el déficit del 40 % de la precipitación media anual se puede presentar una vez cada tres años; en gran parte de esta provincia climática se da una vez cada cinco años (Núñez *et al.*, 2016).

A continuación, se considera solamente a las cuencas de influencia de las ciudades principales las que fueron definidas por ser parte de la misma región climatológicamente homogénea, además de ser las que aportan recurso hídrico a los municipios analizados.

De esta forma, las disminuciones en precipitación media anual observadas se estimaron para un promedio de las estaciones que están dentro de cada cuenca de influencia. Cabe mencionar que el cálculo para cada estación se realizó con un análisis regional de frecuencias de sequía, lo que permite intercambiar espacio por tiempo y obtener datos más certeros en el déficit de lluvia esperado. En el caso, para los municipios de Los Cabos y La Paz, que resultaron estar dentro de la misma región climatológicamente homogénea se encontraron disminuciones de 20 %, 35 %, 60 % y 70 % para los períodos de retorno de 2.5, 5, 10 y 20 años respectivamente. Por ejemplo, para el municipio de La Paz, en sus cuencas La Paz y El Coyote se espera que ocurra un déficit de aproximadamente 60 y 50 milímetros de precipitación media anual una vez dentro de los siguientes 2.5 años, respectivamente. Esto es calculado con respecto a la precipitación media anual considerado un año normal durante el período de datos históricos utilizados para el análisis realizado.

Exposición a cambio climático: escenarios de futuro mediano en la región

El análisis del escenario esperado en el horizonte de futuro medio (2045-2069) con el modelo GFDL_CM3 y MPI_ESM_LR, muestra precipitaciones inferiores al promedio histórico observado para dicho futuro mediano en el caso GFDL_CM3. El modelo MPI_ESM_LR, al contrario, espera que se mantenga en condiciones normales similares a la climatología actual, o hasta aumenta la precipitación media anual en algunas cuencas. Sin embargo, si contrastamos los resultados de MPI_ESM_LR a mediano plazo con los resultados del análisis regional de frecuencias podemos decir que el modelo MPI_ESM_LR sobreestima los datos y no es tan recomendable para este tipo de regiones, donde ya se está notando una disminución de la precipitación media anual.

De manera general, se recomienda utilizar para esta región los escenarios generados con el modelo GFDL_CM3 para un plan sustentable de manejo de cuenca donde se presenten alternativas de preparación ante los posibles escenarios de déficit de lluvia en los municipios de La Paz y Los Cabos. Los resultados observados con este modelo son los que se espera sucedan una vez en promedio cada 2.5 años de acuerdo al análisis hidrológico de frecuencia de sequías meteorológicas (basadas en precipitación). Resalta que convierte a dicha sequía como una condición normal para la región en un futuro mediano.

Índice de exposición total (sequía y cambio climático)

Para concluir de manera general y considerando el análisis regional de frecuencias de sequía y las predicciones del modelo GFDL_CM3 en combinación, se proyecta que, en

el futuro cercano, los valores que corresponden a un evento extremo de sequía de una vez en 2.5 años será la precipitación media anual esperada en condiciones normales (figura 3). Es decir, en la región si se presenta un escenario como el estimado por el modelo GFDL_CM3 las condiciones de sequía serán más severas que las estimadas con los datos históricos actuales, ya que el promedio de precipitación media anual decrecerá en un 20 % para condiciones normales. De tal forma que en el futuro mediano ya va a tener condiciones secas correspondientes a algo que antes se esperaba que sucediera puntualmente una vez en promedio en 2.5 años, lo cual agrava la situación, porque dicha condición se convierte en la base para estimaciones futuras a mediano y largo plazos.

Vulnerabilidad a la disminución de disponibilidad de recurso hídrico ante la sequía y el cambio climático

El resultado final del índice planteado que estima el grado de vulnerabilidad a la disminución del recurso hídrico ante la sequía y el cambio climático en las cuencas hidrológicas con destino turístico de Baja California Sur, se catalogó en 10 clases de vulnerabilidad, siendo la clase 1 la menos vulnerable y 10 la más vulnerable en una

comparación entre las cuencas analizadas (figura 3). A continuación, se explican los tipos y las medidas de manejo que los autoridades, empresarios y ciudadanos debieran considerar para adaptarse a las situaciones que se prevén de sequía y cambio climático.

Tipo de vulnerabilidad

Se encontró que el índice de vulnerabilidad aumenta porque las medidas de adaptación son casi en su totalidad inexistentes, solo hay infraestructura para reuso de agua y desalinizadoras, en 8 de las 21 cuencas, solo en dos hay desalinizadoras. En esta ocasión la capacidad de adaptación es demasiado sencilla y no debe supeditarse ésta a la construcción de infraestructura. Hay otras medidas de tipo cultural, como es mejor manejo del agua o de autosuministro, como es la captación y almacenaje de agua de lluvia. En Israel las medidas que se tomaron fueron 1. Arreglo de fugas en las ciudades y campos de riego agrícola, 2. Cultura de agua apropiada al desierto y las sequías, 3. Cosecha de agua, 4. Tratamiento de agua y 5. Desalinización. En la región de estudio se comenzó por el final de acuerdo a esta lógica de manejo de agua de zonas áridas.

Los tipos de vulnerabilidad encontrados en la zona de estudio se clasificaron en 10 clases descritas en la tabla 3.

Consideraciones finales y recomendaciones para tomadores de decisiones

Los elementos vertidos a lo largo de este documento nos permiten argumentar tres aspectos fundamentales: en primer lugar que las condiciones físicas propias de las

regiones áridas hacen a sus acuíferos altamente vulnerables (aún sin considerar los escenarios del cambio climático). Por su parte, los diversos indicadores sobre vul-

Tabla 3. Tipos de vulnerabilidad clasificados por prioridad.

Vulnerabilidad tipo 1	IS: Muy alto	IE: Muy alto	ICA: Medio
<p>Comprende las dos cuencas donde los indicadores que forman los índices resultan en muy altos y alto, es decir la frecuencia e intensidad de la sequía aumentarán, porque habrá disminución de la precipitación en los escenarios de cambio climático elegidos, además la disponibilidad actual ya es baja, la demografía es alta, la demanda no está satisfecha, hay competencia por el uso del agua entre sectores y la demanda del agua por el sector turismo es muy alta y depende altamente de este recurso para su desarrollo y el uso del suelo también es demandante del recurso hídrico y las medidas de adaptación corresponden a plantas desalinizadoras y de reúso de agua. La prioridad de atención regional impone esta situación donde se sigue desarrollando el turismo de gran escala y donde la urbanización dispar entre hoteles y zonas habitacionales tiene diferencias marcadas en el acceso al agua. La medida principal de capacidad de adaptación ha sido la construcción de infraestructura para reusar el agua y tratar el agua marina, sin embargo, son dos medidas económicas que no compensan las medidas sociales y ambientales que esperaría un modelo de sustentabilidad. Se integró en este tipo de vulnerabilidad, la cuenca de Todos Santos porque, a pesar de tener un índice de sensibilidad y exposición altos y una planta de tratamiento de agua, se visualiza en sus planes de desarrollo, aunque contrario a su vocación y las expectativas de sus habitantes, la repetición del modelo del corredor turístico Los Cabos-San José del Cabo. Por lo tanto, en este tipo de cuencas es importante remediar en las primeras y prevenir situaciones similares en la última, sobre todo ante los escenarios de sequía y cambio climático.</p>			
Vulnerabilidad tipo 2	IS: Alto	IE: Muy alto	ICA: Inexistente
<p>Comprende solo una cuenca en la vertiente Pacífico y su vulnerabilidad es similar a la Todos Santos solo que tiene aún menores medidas de adaptación (una planta de reúso de agua).</p>			
Vulnerabilidad tipo 3	IS: Alto	IE: Alto o medio	ICA: Inexistente
<p>Son tres cuencas no colindantes de las cuales una es muy cercana a La Paz y las caracteriza no contar con ninguna medida de adaptación que en este caso fueron plantas desalinizadoras o tratadoras de agua.</p>			
Vulnerabilidad tipo 4	IS: Alto	IE: Alto	ICA: Bajo
<p>Corresponde a dos cuencas, en especial llama la atención en La Paz que no se hayan instalado desalinizadoras si el crecimiento poblacional está en aumento.</p>			
Vulnerabilidad tipo 5	IS: Medio	IE: Alto	ICA: Bajo
<p>La cuenca Cabo Pulmo está como Todos Santos implementando proyectos de desarrollo turístico sin prevenir la implementación de las medidas de adaptación aquí utilizadas.</p>			
Vulnerabilidad tipo 6	IS: Medio	IE: Muy alto	ICA: Bajo
<p>La cuenca Santiago está como Todos Santos implementando proyectos de desarrollo turístico sin prevenir la implementación de las medidas de adaptación aquí utilizadas.</p>			
Vulnerabilidad tipo 7	IS: Medio	IE: Muy alto	ICA: Inexistente
<p>Cuatro cuencas, tres de ellas colindantes y con vertientes tanto al golfo de California como al Pacífico. La exposición ya es muy alta, aunque la sensibilidad es media, pero no tienen medidas de adaptación.</p>			
Vulnerabilidad tipo 8	IS: Medio	IE: Alto	ICA: Inexistente
<p>Una cuenca que vierte al Pacífico y cercana a las cuencas con proyectos de desarrollo turísticos que dominan la zona estudiada.</p>			
Vulnerabilidad tipo 9	IS: Medio	IE: Medio	ICA: Inexistente
<p>Tres cuencas al norte de la región donde todavía el desarrollo turístico no aumenta la exposición, pero donde la sensibilidad tampoco es muy alta.</p>			
Vulnerabilidad tipo 10	IS: Bajo	IE: Medio	ICA: Inexistente
<p>Una cuenca que vierte al golfo de California con población de pescadores y donde todavía no se planean proyectos de turismo que detonan alto crecimiento poblacional y demanda de agua.</p>			

nerabilidad climática detectados en la zona prevén que el cambio climático impacte significativamente el ciclo hidrológico a la baja en términos de precipitación. En este sentido, en términos de disponibilidad de agua ante escenarios de cambio climático, la región de estudio es verdaderamente un foco rojo por lo cual es sumamente importantes trabajar con los escenarios futuros.

En segundo lugar la política hídrica parece no apearse al contexto local dado que muestra una clara tendencia a favorecer un modelo de negocio turístico-inmobiliario principalmente en los municipios Los Cabos y La Paz debido a su importancia social y económica. Es importante señalar que el factor económico del sector turístico juega un papel importante en el diseño de la política hídrica, las cuales a su vez reflejan serias inequidades sociales en el suministro del líquido. Los volúmenes concesionados por tipo de uso en los acuíferos que comprenden el Corredor Turístico de Los Cabos y zonas anexas dentro del mismo municipio dejan clara la sobreexplotación y la sobre-concesión de la zona. Por su parte los acuíferos del municipio de La Paz reflejan la misma disputa intersectorial por el agua, pero en magnitudes diferentes. Ambos casos nos brindan una perspectiva histórica de la sobreexplotación de los acuíferos en la entidad que podría contribuir a comprender y, deseablemente, influir en el manejo adecuado de los usos consuntivos del agua en Sudcalifornia. Por consiguiente, es urgente proponer y poner en práctica medidas integrales que busquen solucionar el problema de fondo.

En tercer lugar, las propuestas hasta hoy planteadas, desde una óptica del aumento de la oferta y basadas en una falsa disponibilidad, solo crean mayor escasez y un aumento del grado de presión sobre el recurso

(Graciano, 2018). Antes de pensar en la expansión de la frontera turística, es necesario repensar este tipo de desarrollos turísticos en el país, en regiones áridas y costeras debido a los altos patrones de consumo del sector turístico. Las plantas desalinizadoras construidas en la zona han resultado ser solo un paliativo a una problemática más compleja que no se aborda a profundidad en este documento, lo cual deja la puerta abierta a futuras investigaciones.

De la misma manera, en los esfuerzos de adaptación, no hay que olvidar el equilibrio entre sectores par lograr una mejor gobernanza, como muestran los resultados de nuestros indicadores de capacidad de adaptación sobre el reuso del agua o cuerpos receptores, donde también se detectaron inequidades.

El tema de los cuerpos receptores y del reuso en cuanto a los sectores beneficiados es un buen ejemplo de aplicación de la visión de las cuencas como sistemas socio-naturales en los cuales las decisiones deben involucran la participación de todos los sectores involucrados (subsistemas de gestión pública, social y privada), como la que se está promoviendo recientemente con las oportunidades de financiamiento que representan la construcción de los proyectos PRONACES (CONACYT, 2019).

Otro punto importante que surge de este ejemplo es la necesidad de rigor y seguimiento en la generación de los datos, por ser los insumos para poder respaldar/respetar proyectos/aspiraciones de los diferentes sectores, hacer diagnósticos, y últimamente tomar decisiones legítimas.

Finalmente, en un contexto de democracia, Derecho Humano al Agua, gobernanza y participación social en la toma de decisiones es necesario realizar análisis más complejos en términos de gestión del agua

que integren como punto principal el factor social y ambiental. Solucionar el problema de la vulnerabilidad de las cuencas hidrológicas a la disminución del recurso hídrico ante la sequía y el cambio climático, requiere atender los elementos conside-

rados en el presente trabajo, con un abordaje multidimensional e interdisciplinario, a través de la implementación de medidas remediativas inmediatas así como preventivas para el mediano plazo.

Literatura citada

- DOF, 1954. Decreto de veda de tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. Diario Oficial de la Federación: 06/julio/1954.
- DOF, 2015. Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las Regiones Hidrológico-Administrativas que se indican. Diario Oficial de la Federación: 20/04/2015.
- CEA, 2015. Programa Hídrico Estatal. Comisión Estatal del Agua. 2015 - 2021. 57p.
- CONACYT, 2019. Conocimiento y gestión en cuencas del ciclo socio-natural del agua para el bien común y la justicia ambiental. La construcción de los PRONACES (Programa Nacional Estratégico). Octavio Rosas, M. López Ramírez, P. Ávila García. Enero 2019.
- CONAGUA, 2010. Estadísticas del Agua en México. Edición 2010, Comisión Nacional del Agua, México.
- CONAGUA, 2013. Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2013. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. México, D. F.
- CONAGUA, 2015a. Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE). Comisión Nacional del Agua. [En línea]. Consultado el 20 de marzo de 2018 desde la World Wide Web: <http://www.pronacose.gob.mx/>
- CONAGUA, 2015b. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en operación. Diciembre 2015. Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA, 2016. Atlas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. [En línea]. Consultado el 20 de marzo de 2018 desde la World Wide Web: http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf
- Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2014. México en Cifras/Proyecciones de la Población 2010-2050.
- Graciano, J.C., 2013. Uso del agua y agricultura de exposición en Baja California Sur, perspectivas desde el agro para el desarrollo regional. Tesis Maestría en Ciencias Sociales: Desarrollo Sustentable y Globalización, con orientación en Globalización. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 177 p.
- Graciano, J.C., 2018. Sociedad y turismo en BCS, de la competencia a la asignación eficiente del uso del agua. El caso del municipio de Los Cabos. Tesis de doctorado en Ciencias Sociales: Desarrollo Sustentable y Globalización. UABCS.
- Hosking, J. y Wallis, J., 1997. Regional Flood Frequency Analysis: an Approach based on L-moments. Cambridge University Press, New York. 245 pp.
- INEGI. 2014. Anuario Estadístico y Geográfico de Baja California Sur 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/anuario_14/702825065331.pdf
- IPCC, 2013. Climate change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland: WMO/UNEP, 2013, 33 pp.
- Ivanova, A., R. Ibañez y J. Gerber, 2012. La consolidación de Los Cabos como un polo de crecimiento: retos y oportunidades en Los Cabos. Prospectiva de un paraíso natural y turístico (Ganster, P., O. Arizpe y A. Ivanova, Eds.),

- ISBN 978-1-938537-01-1, SDSU/UABCS, pp. 439-460.
- Meza, L., S. Corso, y S. Soza, 2010. Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. Santiago de Chile, ODEPA/FAO
- Núñez, J., M. Hallack-Alegría, y M. Cadenas, 2016. Resolving Regional Frequency Analysis of Precipitation at Large and Complex Scales Using a Bottom-Up Approach: The Latin America and the Caribbean Drought Atlas, *J. Hydrol.*, 538, 515–538.
- SECTUR, 2014. Sistema Nacional de la Información Estadística del Sector Turismo de México - DataTur. <http://datatur.sectur.gob.mx>
- Wurl, J., C.N. Martínez García, y M.A. Imaz Lamadrid, 2017. Hydrologic response to climate change in arid regions: Case study in los Comondú, Baja California Sur, Mexico. *Hidrobiológica*, 27(1): 13-22.

Adaptabilidad y transformaciones en el lago de Chapala. Retos para la gobernanza y el manejo de los cuerpos de agua epicontinentales

C. Pedroza Gutiérrez y A. Sandoval Moreno

Resumen

El lago de Chapala es el de mayor extensión en el territorio mexicano y forma parte de la cuenca Lerma-Chapala, una de las cuencas con usos más intensivos del país. El lago abastece el 60 % del agua surtida a la Zona Metropolitana de Guadalajara, se riegan los campos agrícolas circundantes y abastece un gran número de industrias. Además, en las comunidades ribereñas al lago cientos de familias se dedican a la pesca, lo cual les proporciona una fuente de ingresos y el pescado forma parte de

su alimento básico. Sin embargo, además de su importancia ambiental, económica y cultural, el lago presenta una compleja problemática relacionada con el uso, apropiación y manejo de los recursos hídricos, pesqueros y costeros, misma que ha conducido a un ecosistema frágil. A pesar de las normas y regulaciones que conforman el núcleo que gobierna al lago en miras de un uso moderado de los recursos que lo componen, en la práctica se distinguen sobreexplotación, contaminación y la reducción del vaso lacustre. En el marco de esta problemática, la investigación tiene como objetivo central analizar los procesos de transformación naturales e inducidos del lago de Chapala, así como los procesos de adaptación de una parte de sus usuarios, particularmente pescadores y comunidades costeras. Para esto será necesario considerar el marco institucional que regula el acceso y uso de estos recursos, así como las prácticas de los actores locales ligados al lago. Mediante el enfoque de gobernanza adaptativa se identifican cambios en los usos y control del territorio costero, el estrés lacustre que esto implica y la reorganización social y estrategias adaptativas que los pescadores se ven obligados a implementar de manera reactiva y en ocasiones improvisada.

Palabras clave: Lago de Chapala, pesca continental, pescadores, gobernanza

Introducción

Las pesquerías en general, y las artesanales en particular, se caracterizan por conformar un sector dinámico y evolutivo (Béné *et al.*, 2007). En otras palabras, la pesca es una actividad de cambios constantes, no solo por las condiciones ambientales, los ciclos estacionales, los nichos reproductivos de las poblaciones de peces, la calidad del agua, así como por las dinámicas social y económica de las comunidades de pescadores; por lo que las pesquerías se identifican como sistemas complejos adaptativos. Sin embargo, desde las políticas públicas gubernamentales, el manejo tradicional de pesquerías se ha tratado como si fueran sistemas controlables y predecibles (Mahon *et al.*, 2008).

Un enfoque emergente que se encarga de sistemas complejos ser humano-naturaleza se centra en la resiliencia y adaptación (Mahon *et al.*, 2008). Un sistema complejo, o un ecosistema complejo, como las pesque-

rias, necesita formas de manejo adaptativo más acordes a los cambios constantes de este sistema. El concepto de gobernanza adaptativa va más allá del manejo adaptativo de los ecosistemas porque aborda el amplio contexto social que facilita el manejo basado en los ecosistemas (Dietz *et al.*, 2003).

El fundamento de un manejo adaptativo activo es que el conocimiento debe de estar en continua actualización y ajuste, y cada acción debe ser vista como una oportunidad de aprendizaje, de cómo adaptarse a las cambiantes circunstancias. Esto debido a que las propiedades de auto-organización de los ecosistemas complejos y sistemas de manejo asociados pueden incrementar la incertidumbre a lo largo del tiempo (Carpenter y Gunderson, 2001). Desarrollar la capacidad de los individuos para aprender efectivamente de sus experiencias es una parte importante en la construcción de y

desarrollo de habilidades en organizaciones e instituciones que permitan un buen manejo adaptativo. Aprendizaje para desarrollar la habilidad de los individuos para enfrentarse con situaciones nuevas, y habilidades que preparan a los manejadores para la incertidumbre y la sorpresa (Folke *et al.*, 2005), o en su caso a los pescadores.

Sin embargo, el aprendizaje organizacional no se limita a las organizaciones formales, ya que los sistemas sociales no están estructurados solamente por reglas, posiciones y recursos, sino también por significados y por la totalidad de la red que comunica y vincula individuos y organizaciones en diferentes niveles de interacción, representando el sistema social involucrado en la gobernanza (Westley, 1995).

Entendiendo a la gobernanza como las estructuras y procesos por las cuales diferentes actores, quienes comparten el poder, interactúan y toman decisiones en diversas escalas, sobre cuestiones de interés público (Lebel *et al.*, 2006; Rosales y Brenner, 2015). Los procesos de gobernanza generan instituciones en donde se ejerce coordinación social (Lee, 2003). Los marcos institucionales derivados de éstos procesos pueden ser reglas diseñadas y respaldadas por normas culturales locales que son más fácilmente aceptadas por las comunidades, que regulaciones impuestas por el gobierno (Townsend, 1995).

Boyle *et al.* (2001) señalan que un proceso de gobernanza es para resolver o darle solución a una negociación (*trade-offs*), proporcionar una visión y dirección para la sostenibilidad; y el manejo es la opera-

cionalización de esta visión. Así Folke *et al.* (2005) argumentan que la gobernanza adaptativa se operacionaliza a través del manejo adaptativo, y que los roles del capital social, enfocados en las redes, el liderazgo, y la confianza, se enfatizan en este contexto. De esta manera las interacciones y decisiones de interés mutuo entre los pescadores conforman procesos de gobernanza para adaptarse al dinamismo de la actividad pesquera.

Desde un enfoque de gobernanza adaptativa el objetivo central de esta investigación es analizar los procesos de transformación socioambiental, naturales e inducidos, del lago de Chapala, así como los procesos de adaptación de una parte de sus usuarios, particularmente pescadores y comunidades ribereñas. De esta manera se podrán identificar los cambios en los usos y control del territorio costero, el estrés lacustre que esto implica y la reorganización social y estrategias adaptativas que los pescadores se ven obligados a implementar de manera reactiva y en ocasiones improvisada.

Para poder entender el contexto de la problemática, las transformaciones de los recursos y adaptaciones de los pescadores se presentan en primer lugar las características generales de las pesquerías continentales y sus formas más comunes de manejo, seguido por las características y principales factores de cambio del lago de Chapala, las formas institucionales (formales e informales) implementadas para el uso, control y apropiación de los recursos en el contexto del cuerpo de agua.

Las pesquerías continentales

La pesca continental o de aguas interiores, como la del lago de Chapala, se caracteriza por llevarse a cabo en pequeña escala, con base familiar y de subsistencia, en la cual la mayor parte de la captura es consumida localmente en lugar de ser distribuida en otras localidades (Youn *et al.*, 2014). Por estas razones se considera una actividad fundamental para la subsistencia de comunidades ribereñas porque representa una fuente de proteína animal de alta calidad, además de generar ingresos, empleos directos e indirectos para estas comunidades (Valbo-Jørgensen *et al.*, 2008; Welcomme, 2011). Además de esto, y por su fácil acceso, existe una percepción general de que la pesca de aguas continentales y de pequeña escala es una actividad practicada por los más pobres (Béné, 2003), pues en varias partes del mundo atrae a las personas con menores recursos y que no tienen tierras en las comunidades rurales (Welcomme, 2001).

Lynch *et al.* (2017) resaltan la creciente evidencia sobre la importancia que tiene la pesca continental para los países pobres. De hecho la mayor parte de la captura proviene de países africanos o asiáticos, 71 de los países de ingresos bajos y con déficit de alimentos produce el 80 % del total global reportado de pesca continental (FAO, 2012). Además de su contribución social, los ecosistemas dulceacuícolas mantienen aproximadamente el 42 % de todas las especies conocidas de peces, sin embargo, son uno de los ecosistemas mayormente amenazados en el mundo (Vörösmarty *et al.*, 2010).

La compleja problemática que las atañe y pone en riesgo su continuidad (Welcomme, 2001; Allan *et al.*, 2005), proviene de

una doble naturaleza. Por una parte, se relaciona con el manejo de la pesca (*e.g.* pesca ilegal y sobrepesca), y por la otra están los problemas inherentes a los cuerpos de agua (contaminación y sobreextracción) en donde se practica. Esto también tiene que ver con las constantes amenazas externas provenientes del uso del agua para la producción de energía eléctrica y el desarrollo de la agricultura (Coates *et al.*, 2005).

De esta manera, parte de los orígenes de los problemas de la pesca continental tienen que ver con que se rigen bajo medidas clásicas de manejo, poco flexibles, como la disminución del esfuerzo pesquero, el control de la captura, la protección de zonas de desove y el cumplimiento de las leyes. O bien con los cuatro mecanismos en los que se asientan las bases del manejo de pesquerías continentales: la mejora del stock a través de repoblamientos e introducción de especies no nativas; la rehabilitación y manipulación del hábitat para propósitos de pesca; la regulación de pesquerías, y la conservación y protección de los peces y de las pesquerías (Cowx y Gerdeaux, 2004).

En el caso particular de la introducción de especies no nativas esto ha causado la disminución y casi desaparición de algunas especies nativas (Moncayo-Estrada *et al.*, 2012). Sin embargo, y aunque contradictorio a la conservación, sigue siendo una práctica común de manejo de pesquerías de agua dulce a nivel mundial (Cowx, 1994). Ésta se ha llevado a cabo con el objetivo de diversificar la variedad de peces, e incluso mejorar la calidad del ecosistema. En ciertos casos el repoblamiento se ha convertido en la base del mantenimiento de algunas pesquerías como la tilapia, la carpa y la lobina (Hickley y Chare, 2004).

Otro problema común de estas pesquerías es la falta de datos e información, por tanto, no existen datos confiables sobre sus niveles de producción (Youn *et al.*, 2014), lo cual también implica que las contribuciones de esta actividad no son fáciles de cuantificar. La falta de datos a su vez implica una falta de conocimiento del estado real de la actividad, por lo cual las pesquerías continentales son mayormente negadas en

los procesos de gobernanza. Esto también se debe a un aislamiento e invisibilidad política y económica, porque las pesquerías están débilmente representadas en los espacios de toma de decisiones, se percibe la falta de interés gubernamental para impulsarlas como un sector económico en el desarrollo nacional, así, debido al poco apoyo institucional otros usuarios del agua toman la preferencia (Lynch *et al.*, 2017).

El lago de Chapala, detonantes de cambio y pesquerías

El lago de Chapala es un lago semitropical poco profundo, su extensión es de 75 por 22 km en promedio y su profundidad oscila entre 6 y 11 m (Tereshchenko *et al.*, 2002). Este lago es el más grande en México y el tercero más grande en América Latina después del lago Titicaca en los Andes y el lago Nicaragua en Centro América. Dentro del esquema de lago tropical somero hay autores que consideran que Chapala podría ser el más grande del mundo (Sandoval, 1994). El lago es compartido por dos estados: Jalisco en donde se ubica el 86 % de su superficie y Michoacán el 14 % (figura 1).

La pesca en el lago de Chapala ha sido una actividad tradicional desde la época prehispánica. Sin embargo, las comunidades lacustres y esencialmente dedicadas a esta actividad han tenido que llevar a cabo procesos de auto-organización para enfrentarse y adaptarse a los cambios y transformaciones del medio: introducción de especies exóticas, reducción del vaso lacustre, contaminación del agua, sequías, azolvamiento, amplias zonas invadidas por el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*); así como privatización de los accesos libres al lago, competencia entre grupos por la pes-

ca de especies comerciales, conflictos en las organizaciones, falta de apoyo para renovar implementos de pesca, intermediarismo y falta de capacitación (Hernández-García y Sandoval-Moreno, 2015; Sandoval-Moreno y Ochoa-Ocaña, 2010).

A lo largo de su historia las diferentes formas de gobierno que han manejado los ecosistemas del lago han provocado diversas transformaciones. Estas han sido implementadas por políticas y regulaciones gubernamentales, que han sido operacionalizadas a través de instituciones y proyectos de Estado. Esto sumado a los efectos del desarrollo urbano, las industrias, el turismo y las economías extractivas han afectado la función natural del vaso de agua, con implicaciones en la pesca y las comunidades que dependen de ésta. Además de la naturaleza cambiante del lago y los fenómenos climáticos que también alteran sus niveles de agua.

En un marco de política más amplia, la problemática ambiental hídrica de México se desprende, en parte, de los modelos de desarrollo aplicados en el país y cuyo enfoque en el sector primario le ha dado prioridad a la producción agrícola y gana-

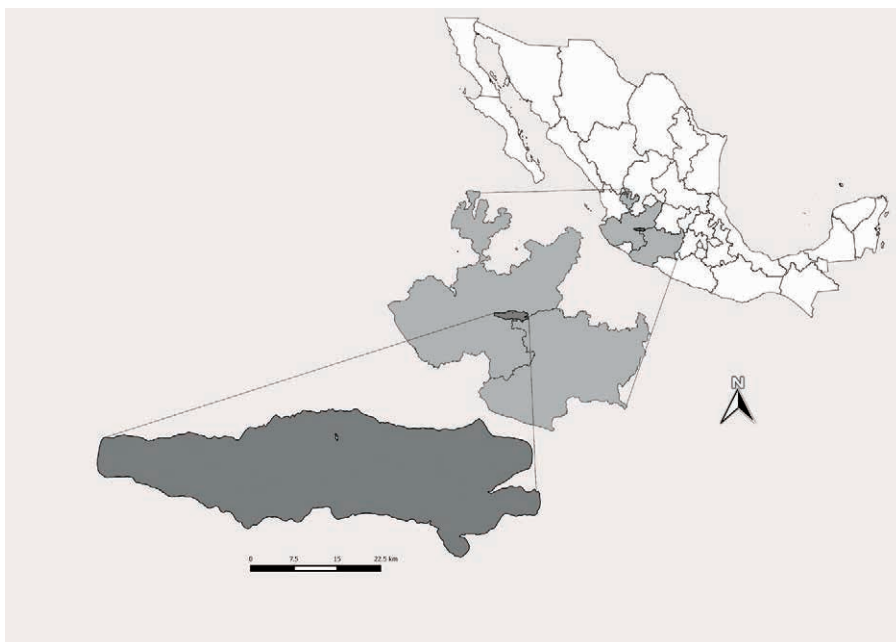


Figura 1. Localización del Lago de Chapala.
Fuente: INEGI (2000). Edición: María Guadalupe Sámano Leyva.

dera. A lo largo de la historia nacional, estos proyectos han transformado las cuencas hidrológicas canalizando gran parte de su aprovechamiento al sector industrial y a sistemas de riego para la producción agrícola (Wolfe, 2013). Hechos que han dejado de lado el manejo del agua orientado al impulso y mantenimiento de la producción pesquera (Paré, 1989).

Los proyectos que transforman las cuencas hidrológicas han causado la sobreexplotación del agua a través de la construcción de infraestructura de irrigación como presas y pozos. Un ejemplo de esto es el lago de Chapala, el cual se ubica en la parte media de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Esta última integrada por cinco estados de la república y 205 municipios, donde existen aproximadamente 552 presas distribuidas a todo lo largo de la cuenca y, por tanto, se queda en sistemas de irrigación gran parte

del agua que escurría al lago. Es por esta razón que la extracción de agua ha excedido el abastecimiento en aproximadamente un 10 % (von Bertrab, 2003). Además de esto, el lago de Chapala ha sido una de las principales fuentes de suministro de agua de la ciudad de Guadalajara desde hace aproximadamente 50 años ya que abastece el 60 % de su zona metropolitana.

De acuerdo con Paré (1989), desde la colonia hasta 1940 las extracciones de agua fueron menores a las aportaciones, por lo que las oscilaciones del lago en esa época se debieron más bien a fenómenos naturales y climatológicos. Posterior a esta fecha las actividades antropogénicas provocan el aumento de los niveles de extracción lo cual es uno de los detonantes más importantes del deterioro del lago.

Otra causa del deterioro del lago de Chapala se refiere a los cambios de niveles de

precipitación pluvial que han causado desecaciones transitorias del lago. Una de las más importantes fue en 1955 cuando las bajas precipitaciones y sequías provocaron que amplias áreas se secaran es la zona oriente. Por sus características los niveles de evaporación del agua, 10 mm diarios, resultan en la mayor pérdida anual que el agua recibida por lluvias (Tereshchenko *et al.*, 2002; Filonov *et al.*, 1998).

Sin embargo, las alteraciones más importantes del lago se han llevado a cabo bajo formas de gobierno con una visión productivista y de explotación intensiva de recursos naturales. La primera fue la que caracterizó al gobierno de Porfirio Díaz y llevándose a cabo una transformación drástica entre 1904 y 1909 donde se desecaron aproximado de 50 mil hectáreas. Esto con la intención de desarrollar proyectos ganaderos y agrícolas los cuales fueron la base del desarrollo de aquella época.

Asimismo, la contaminación del agua es un asunto preocupante entre las comunidades de pescadores, consumidores locales, restauranteros y comerciantes; pero que insatisfactoriamente han dado atención para resolver el problema las entidades gubernamentales federales, estatales y municipales. Parte importante de la contaminación es derivada de las sustancias tóxicas aportadas por las 3 500 industrias localizadas a lo largo de la cuenca (metalmecánica, metalúrgica, electromecánica, de pinturas, de baterías, química, petroquímica, minera y peletera), las cuales registran el 30 % de la actividad industrial del país (Mestre-Rodríguez, 1997).

En suma, todas las actividades dependientes del agua del lago de Chapala y sus fuentes tributarias muestran procesos no sustentables del recurso y la ausencia de medidas de gobernanza para construir un

mejor futuro. Por el contrario, resulta una presión creciente por el agua en la cuenca, debido a que en México existe una visión de la gestión del agua separada de la gestión ambiental (Caire, 2004).

En el lago de Chapala, la introducción de especies exóticas es resultado de las formas de gobierno que ya tenían como objetivo el desarrollo de la acuacultura en México. Bajo esta perspectiva se introduce la trucha arcoíris y la carpa asiática, en 1889, por la Secretaría de Fomento del gobierno porfirista. La intención nunca fue favorecer la pesca, ya que se consideraba como una actividad deficiente en comparación con la acuacultura. Otra especie introducida es la tilapia, la cual llegó al país a mediados de los 60s y los primeros registros de captura de tilapia en Chapala fueron identificados a principios de los 70s (Guzmán-Arroyo, 1995). La introducción de la tilapia fue llevada a cabo dentro del marco de una estrategia de autosuficiencia alimentaria de la FAO que tenía como objetivo proveer el sector rural de proteína barata y de alta calidad (Pedroza-Gutiérrez, 2018).

Por otro lado, desde las condiciones de los pescadores establecidos por toda la ribera del lago de Chapala, la sobrepesca es otra problemática relacionada con tres factores: el aumento de la población de pescadores dada la falta de fuentes de trabajo, el cambio y aumento de tecnología de pesca, y las oscilaciones en los niveles de agua (Pedroza-Gutiérrez, 2018). Todo, resultado del manejo inadecuado del lago y sus recursos, y al mismo tiempo ha sido motivo en los pescadores para implementar, desde sus instituciones, procesos de auto-gobernanza para continuar con la pesca, seguir con sus prácticas a partir de sus saberes, y poder adaptarse a las cambiantes circunstancias del lago.

Normatividad y manejo en torno a la pesca y el lago de Chapala

La normatividad que rige el manejo de la pesca en el lago de Chapala tiene como base primordial la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables, y su reglamento. Además de esto, existen las recomendaciones técnicas del INAPESCA establecidas en la Carta Nacional Pesquera (CNP), y la NOM-032-PESC-2015: “*Pesca responsable en el lago de Chapala, ubicado en los estados de Jalisco y Michoacán. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros*”, publicada en el DOF el 19 de junio de 2015. En la NOM se establecen los términos y condiciones para el aprovechamiento de la pesca en el lago. También se establecen las tallas mínimas y vedas para la pesca comercial de carpa, bagre, charal y tilapia; el tipo de embarcaciones permitidas (sin motor fuera de borda); y los artes de pesca que son tumbos, nasas y redes mangueadoras, con sus respectivos anchos de malla. Igualmente se mencionan los artes de pesca prohibidos como el chinchorro playero, los trasmallos, la pesca con electricidad, el uso

de explosivos, sustancias químicas, técnicas de apaleo, cueveo, corrales y motoreo. Otro aspecto que se determina en esta norma es el manejo de los ranchos charaleros, las condiciones de captura y protección de recursos, asimismo, como las normas de higiene y eviscerado de las especies capturadas y la normatividad para llevar a cabo la pesca deportiva.

No obstante, una de las carencias en la regulación que conforma la base del manejo de las pesquerías del lago es que no hay legislación que considere a la pesca como parte integral del manejo del agua. Por lo cual, no se consideran ni los niveles que deben existir para la sobrevivencia de los peces, ni la calidad de agua que debería de mantenerse, pero tampoco pone interés en las comunidades, familias y organizaciones de pescadores, o de todo lo que conforma la cultura lacustre como un estilo de vida que depende también del lago, incluyendo los aportes alimenticios y la economía familiar.

Gobernanza adaptativa o auto-gobernanza adaptativa pesquera. Una forma de hacer frente a la problemática del lago de Chapala

La pesca continental en México, y en el lago de Chapala, cuenta con una normatividad para llevarse a cabo, sin embargo, la realidad social, la naturaleza misma del lago, las constates amenazas y la competencia por el uso del agua son determinantes para las formas de organización de los pueblos lacustres, que son quienes tienen que hacer frente a los cambios naturales e in-

ducidos del lago, y que limitan el acceso a sus recursos, ya que su subsistencia depende de los recursos pesqueros provenientes del lago. Además de esto la normatividad se distingue por su débil aplicación y un fuerte incumplimiento, y la gran falta de compromiso de los actores y usuarios involucrados (Pedroza-Gutiérrez, 2018).

La normatividad vigente no cuenta con apartados en donde se especifique qué acciones realizar para hacer frente a las oscilaciones en los niveles de agua, y para las variaciones en el volumen de captura se limita el esfuerzo pesquero, pero no hay programas para el mejoramiento de las pesquerías. De esta manera los pescadores toman decisiones y ejercen acciones que se adaptan a la naturaleza cambiante del lago y a sus condiciones de deterioro, pero no necesariamente a la normatividad existente para el manejo de pesquerías continentales.

Una de las acciones adaptativas más comunes en lagos tropicales someros es que en épocas de secas los pescadores siguen el agua para poder tener acceso a los recursos pesqueros. En el lago de Chapala antes de los 50s, ante las oscilaciones de los niveles de agua del lago los pescadores se reorganizaron para seguir el agua e incluso llegaron a crear nuevos centros de población.

A partir de la observación y el conocimiento de los pescadores, adquirido por su propia experiencia y transmitido por

generaciones, identifican los lugares más idóneos para tener una mejor captura y por tipo de especie. También han logrado identificar las zonas del lago donde el agua es más profunda, más y menos contaminada, los lugares donde se reproducen los peces y las condiciones adecuadas, conocen las consecuencias cuando desaparece un tular, el manejo de los vientos durante el año y las repercusiones en los peces ante el arrastre de contaminantes durante las primeras lluvias. Estos son conocimientos comunes compartidos por comunidades lacustres que les permiten tener acceso a los recursos pesqueros, incluso en época de crisis (Welcomme, 2011).

Por otra parte, aunque la CNP y la NOM-032-PESC-2015 especifiquen las características que deben de cumplir las artes de pesca, los pescadores, bajo sus propios sistemas de gestión, llevan a cabo readaptaciones. Por una parte, se ha dado la introducción de artes de pesca como la mangueadora (figura 2) que se empezó a utilizar en los 50s aunque su auge empieza a partir de 1985



Figura 2. Red mangueadora en la comunidad de La Palma, Michoacán.
Fuente: foto tomada por las autoras.

cuando se prohíbe el chinchorro, sin embargo, a solicitud de un grupo de pescadores de Jalisco ésta se prohíbe en 2017. La readaptación más común de los artes de pesca es la utilización de un ancho de malla no permitido y menor al legal, aunado al número de redes que utilizan, ya que hay pescadores que tienen más de 200. Así, los pescadores en sus dinámicas auto gubernativas continúan utilizando el chinchorro y la manguadora en horarios donde saben que es difícil que los inspectores de pesca los puedan descubrir y multar. Las decisiones de readaptar los artes de pesca son una respuesta al contexto social afectado por los cambios en el mercado como la baja en los precios, pero también ante las variaciones en los volúmenes de captura, ya que los pescadores buscan la manera de nivelar sus ingresos. Sin embargo, las decisiones de acceso y manejo al recursos al mismo tiempo intensifican la sobrepesca, la respuesta a una problemática intensifica otro.

La coordinación social en algunas comunidades es de tal manera que cuando se sabe de la visita de un inspector, inmediatamente se difunde la noticia a toda la comunidad de pescadores, protegiéndose unos a otros para evitar ser sancionados. Otra forma adoptada por quienes incurrir en actividades de pesca ilegal, es pescar de noche, ya que saben que en esos horarios no habrá ninguna supervisión. El último caso es recurrir al soborno de las autoridades para no ser denunciados e inhibir la infracción.

Por otra parte, entre los procesos de auto-gobernanza local están los arreglos sociales entre pescadores y entre comunidades de pescadores, los cuales se expresan cuando entre éstos se autoriza pescar si se trata de conseguir alimento, aunque no se cuente con los permisos y registros necesarios. Tampoco es mal visto entre pescadores si

algún pescador en condición de pobreza lo hace para comercializar el producto y asegurar su subsistencia.

Las especies exóticas superan por mucho a las nativas como el pescado blanco (*Chirostoma lucius*) (Moncayo-Estrada *et al.*, 2012). Esto, además de un cambio obligado en la tradición gastronómica desarrollada a partir de esta especie, también ha forzado a los pescadores a buscar canales de distribución para las especies introducidas. Sin embargo, estas especies son de bajo valor comercial y difícilmente pueden competir con las importaciones de tilapia de China y bassa de Vietnam. Así, los pescadores apenas sobreviven en una relación desfavorable de compraventa de su pescado con los acaparadores.

Además de esto, en algunos casos el pescador de Chapala cultiva hortalizas o maíz en terrenos descubiertos del lago en la temporada de sequía, pero la mayoría no cuenta con tierras de cultivo. No obstante, varios labran pequeños espacios de tierra en ladera, bajo el arreglo de préstamo con familiares y conocidos, con el objeto de contar con alimentos para el autoconsumo. Otros más, recurren a trabajar, por temporadas cortas, como jornaleros, comerciantes, albañiles entre otros, para aumentar los ingresos económicos familiares cuando la pesca es escasa y/o muy bajos los precios de venta por kilo de pescado a los intermediarios. También es cierto que cuando regresa el agua al lago, de manera inesperada, la bonanza llega a la pesca. En la última sequía registrada en el año 2000, el agua llegó sin que nadie lo esperara e inundó los terrenos sembrados, entonces a los pescadores se les pagaba por pescar los cultivos que salían a flote. Posterior a esto el volumen de la pesca también presentó incrementos comparados a la época anterior a la sequía.

Otro fenómeno relacionado con el mal manejo de los ecosistemas que conforman el lago de Chapala y afecta negativamente la actividad pesquera tiene que ver con las formas de apropiación de sus costas. Esto se refiere a los usos y control del territorio ribereño que además de limitar los espacios por donde los pescadores pueden tener acceso al agua, afectan la capacidad productiva del lago. En la ribera norte del lago

donde se han desarrollado las actividades de turismo residencial, el fenómeno de invasión del área ribereña a través del relleno con tierra y escombros para posteriormente construir casas habitación, hoteles, restaurantes y corredores turísticos, es un factor más que afecta las condiciones naturales del lago, al reducir las dimensiones del vaso lacustre, cambiar el uso del suelo y afectar en forma definitiva los ecosistemas.

Discusión. ¿Gobernanza, mala gobernanza o auto-gobernanza?

Gran parte de la problemática expuesta demuestra por qué los cuerpos de agua continentales son los ecosistemas que han sufrido los cambios más radicales en los últimos cien años como resultado de actividades antropogénicas (Welcomme *et al.*, 2010). Por una parte, existe una forma de gobierno centrada en una regulación poco flexible y que no considera las dinámicas reales de los ecosistemas del lago, la actividad pesquera y la cultura lacustre. Por otra parte, es claro que el mantenimiento y desarrollo de la pesca en aguas continentales depende de diversos usuarios cuyos objetivos e intereses productivos son diferentes (Welcomme, 2011). Aunado a esto, están los procesos de gobernanza de los pescadores y otros usuarios del lago, basados en normas culturales locales, los cuales ejercen un manejo de la pesca y recursos proporcionados por el lago de acuerdo con sus necesidades y conveniencias, de formas más adaptativas y flexibles.

Las acciones adaptativas implementadas por los pescadores responden a las condiciones de acceso ante la sobreexplotación del agua y a las amenazas impuestas por

acciones de intervención sobre el lago, su ribera y sus recursos, con fines económicos, marginando a las comunidades de pescadores tradicionalmente asentados en la ribera del lago.

La realidad dentro de la cual se ha llevado a cabo la actividad pesquera en el lago de Chapala es una respuesta adaptativa implementada por las comunidades costeras del lago para dar continuidad a la pesca dentro de un marco institucional-gubernamental cuyas decisiones han dejado de lado el mejoramiento de la actividad. Las acciones adaptativas implementadas por los pescadores son una respuesta para tratar de convivir y sobrevivir a los resultados de la sobreexplotación del agua y a las amenazas impuestas por acciones de intervención sobre el lago, su ribera y sus recursos, con fines económicos, marginando a las comunidades de pescadores tradicionalmente asentados en la ribera del lago. Esto demuestra como las comunidades tradicionales de pescadores, son las instituciones no formales las que rigen los arreglos en las familias, las cooperativas y las comunidades.

Por otra parte, las regulaciones para la pesca se han enfocado en tratar de limitar el libre acceso, sin embargo, no han tenido éxito en implementar medidas eficientes que contrarresten las conductas no deseadas que limitan la sustentabilidad de las pesquerías. Además, se percibe la falta de interés gubernamental para impulsarlas como un sector económico en el desarrollo nacional (Lynch *et al.*, 2017).

El lago de Chapala es un ecosistema que debería de manejarse bajo una visión en común, considerando la inclusión de los pescadores, como actores centrales en el diseño de políticas, planes y proyectos hacia un manejo sustentable. Según Caire (2004), la ausencia de un marco de referencia para la toma de decisiones de los diferentes actores, responden más a procesos administrativos que no coinciden con la realidad ambiental de la cuenca. No se considera que la realidad del sistema social afecta el cambio en el sistema natural, pero también es dependiente y, por lo tanto, vulnerable a

estos cambios, ya que establece límites para el potencial de los usuarios de los recursos (Jentoft, 2007).

Por parte de las instituciones formales y gubernamentales encargadas del manejo y conservación de estas pesquerías se observa la ausencia de procesos de gobernanza adaptativa. Sin embargo, los pescadores y algunos usuarios directos de estos recursos, construyen una gobernanza informal adaptativa, llevada a cabo por los grupos sociales que tienen acceso y uso directo de la pesca continental y de los ecosistemas que dependen. Sin embargo, lo informal no puede existir sin la interacción constante con lo formal, ambos están vinculados, no como binarios claramente diferenciados, sino como enlaces interdependientes, como dos caras de la misma moneda (Van Assche *et al.*, 2019). Es decir, los pescadores y la pesca subsisten gracias a esta interacción entre instituciones y procesos formales e informales.

Lecciones aprendidas y recomendaciones para la toma de decisiones

El manejo de los recursos del lago de Chapala necesita de un enfoque socio-ecosistémico y adaptativo. Es decir, la sostenibilidad del lago y sus pesquerías necesitan acciones de reforestación, rehabilitación de suelos, control y reversión de la contaminación del agua en la cuenca Lerma-Chapala y conservación de la biodiversidad, no solamente un plan de manejo de pesquerías que controle los permisos de pesca, imponga vedas y regule el volumen de captura. Las pesquerías dependen de la salud general

del ecosistema y un enfoque que se adapte a las necesidades actuales, que resuelva los problemas que aquejan al lago y, por ende, a las comunidades de pescadores.

Por lo general, no se considera como una aportación de la pesca continental su valor social y cultural. En este caso, además de considerar como indicador el volumen de captura, habría que considerar el número de beneficiarios directos e indirectos como indicador de valor, los aportes alimenticios y nutrimentales que favorecen a cientos de

familias en forma directa, los beneficiarios indirectos y todo el saber hacer respecto al lago y las pesquerías continentales.

De hecho, si la pesca continental no se considera como una actividad redituable ¿porqué se sigue pescando? De forma general se observan al menos cuatro razones: la pesca genera el alimento diario para cientos de familias ribereñas que, sin incurrir en gastos, tienen un alimento con un alto contenido en proteínas. En segundo lugar, la pesca, vivir junto al lago y depender de éste, constituye estilos de vida lacustre que envuelven una cultura que debe ser respetada e integrada a las políticas públicas. En tercer lugar, si existen excedentes estos se convierten en dinero en efectivo al momento de venderlos, y en cuarto lugar, la mayoría de los pescadores continúan pescando porque su ingreso diario obtenido de la pesca es comúnmente mayor al salario mínimo. Es decir, incluso en un mal día de pesca es muy probable que el pescador

obtenga más de \$70 pesos, lo cual difícilmente obtendrá en un jornal agrícola o ganadero.

Como ha sido sugerido por Jentoft (2007), la gobernanza es siempre adaptativa en el sentido de que lo que no se adapta, perece. Esto explica, en parte, por qué gran parte de los usuarios siguen sus propias reglas locales, y no la normatividad vigente. Sobre todo, en el caso de los pescadores, su cultura en el lago y a falta de otras actividades económicas, tienen que buscar la forma de adaptar su oficio a las cambiantes circunstancias no sólo del lago, sino también de los mercados pesqueros.

Como se puede entender a través de lo expuesto, las pesquerías del Lago de Chapala están envueltas en una problemática multicausal, por lo que su atención requiere de procesos cooperativos de toma de decisiones y acciones entre pescadores, sociedad civil organizada, instituciones de investigación y gubernamentales.

Agradecimientos

Las autoras agradecen el financiamiento recibido por parte del Programa a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT IN301719 e IN304518), de la Uni-

versidad Nacional Autónoma de México, ya que gracias este ha sido posible llevar a cabo esta investigación.

Literatura citada

- Allan, J. D., R. Abell, Z.E.B. Hogan, C. Revenga, B.W. Taylor, R.L. Welcomme, y K. Winemiller, 2005. Overfishing of inland waters. *BioScience*, 55(12): 1041-1051.
- Béné, C., G. Macfadyen, E. H. Allison, y Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2007. Increasing the Contribution of Small-Scale Fisheries to Poverty Alleviation and Food Security. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Béné, C., 2003. When Fishery Rhymes with Poverty: A First Step Beyond the Old Paradigm on Poverty in Small-Scale Fisheries. *World Development* 31 (6): 949-75.
- Boyle, M., J. Kay, y B. Pond, 2001. Monitoring in Support of Policy: An Adaptive Ecosystem Approach. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 4(14): 116-37. <https://www.med.uottawa.ca/sim/data/assets/documents/monitor.pdf>.
- Caire, G., 2004. Retos Para La Gestión Ambiental de La Cuenca Lerma-Chapala. Obstáculos Institucionales Para La Introducción Del Manejo Integral de Cuencas. p. 183-199. In El Manejo Integral de Cuencas En México. Estudios, Estudios y Reflexiones Para Orientar La Política Ambiental, edited by Helena Cotler. México: Instituto Nacional de Ecología. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/528/retos.pdf>.
- Carpenter, S.n R., y L. H. Gunderson, 2001. Coping with Collapse: Ecological and Social Dynamics in Ecosystem Management Like Flight Simulators That Train Would-Be Aviators, Simple Models Can Be Used to Evoke People's Adaptive, Forward-Thinking Behavior, Aimed in This Instance at Sustainability of H. *BioScience*, 51 (6): 451-57. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0451:cwceas\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0451:cwceas]2.0.co;2).
- Coates, D., O. Poeu, U. Suntornratnana, T. T. Nguyen, y S. Viravong, 2005. Biodiversity and Fisheries in the Mekong River Basin. *Mekong Development Series*, 3-10.
- Cowx, I. G., 1994. Stocking Strategies. *Fisheries Management and Ecology* 1 (1): 15-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.1970.tb00003.x>.
- Cowx, I. G., y D. Gerdeaux, 2004. The Effects of Fisheries Management Practises on Freshwater Ecosystems. *Fisheries Management and Ecology* 11 (3-4): 145-51. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2004.00411.x>.
- Dietz, T., E. Ostrom, y P. C Stern, 2003. The Struggle to Govern the Commons. *Science*, 302 (5652): 1907-12. <https://doi.org/10.1126/science.1091015>.
- FAO, 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture 2012. Rome.
- Filonov, A.E., I. E Tereshchenko, y C. Monzón, 1998. Oscillations of the Hydrometeorological Characteristics in the Region of Lake Chapala for Intervals of Days to Decades. *Geofísica Internacional* 37(4): 293-307. <https://www.redalyc.org/pdf/568/56837404.pdf>.
- Folke, C., T. Hahn, P. Olsson, y J. Norberg, 2005. Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. *Annual Review of Environment and Resources* 30 (1): 441-73. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>.
- Guzmán-Arroyo, M., 1995. La Pesca En El Lago de Chapala: Hacia Su Ordenamiento y Explotación Racional. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, Comisión Nacional del Agua. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=QUV.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000912>.
- Hernández-García, A., y A. Sandoval-Moreno, 2015. Agua y Tierra: Organización y Reordenamiento de Las Tierras Ganadas y Actividades Emergentes En El Lago de Chapala, México (1904-2014). *Agua y Territorio*, 5 (July): 111-20. <https://doi.org/10.17561/at.v0i5.2538>.
- Hickley, P., y S. Chare, 2004. Fisheries for Non-Native Species in England and Wales: Angling or the Environment? *Fisheries Management and Ecology*, 11 (3-4): 203-12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2004.00395.x>.
- Jentoft, S., 2007. Limits of Governability: Institutional Implications for Fisheries and Coastal Governance. *Marine Policy*, 31(4): 360-70. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2006.11.003>.
- Lebel, L., J. Anderies, B. Campbell, C. Folke, S. Hatfield-Dodds, T. Hughes, y J. Wilson. 2006. Governance and the Capacity to Manage Resilience in Regional Social-Ecological Systems. *Earth Science Faculty Scholarship. Ecology and Society*, 129.
- Lee, M., 2003. Conceptualizing the New Governance: A New Institution of Social Coordination. *Institutional Analysis and Development*, 26.

- Bloomington. <https://pdfs.semanticscholar.org/71ec/0b861a6dad2d93b56ab5f8c6b77bfa415a48.pdf>.
- Lynch, A.J., I.G. Cowx, E. Fluet-Chouinard, S.M. Glaser, S.C. Phang, T.D. Beard, S.D. Bower, *et al.*, 2017. Inland Fisheries – Invisible but Integral to the UN Sustainable Development Agenda for Ending Poverty by 2030. *Global Environmental Change* 47 (November): 167-73. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2017.10.005>.
- Mahon, R., P. McConney, y R. N. Roy, 2008. Governing Fisheries as Complex Adaptive Systems. *Marine Policy*, 32 (1): 104-12. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2007.04.011>.
- Mestre-Rodríguez, J.E., 1997. Water Pollution Control: A Guide to the Use of Water Quality Management Principles. p. 377-291. In *Water Pollution Control: A Guide to the Use of Water Quality Management Principles*, edited by R. Helmer, I. Hespagnol, and W. Supply. Londres: World Health Organization/United Nations Environment Programme. http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/resources-quality/wpcbegin.pdf?ua=1.
- Moncayo-Estrada, R., J. Lyons, C. Escalera-Gallardo, y O. T. Lind, 2012. Long-Term Change in the Biotic Integrity of a Shallow Tropical Lake: A Decadal Analysis of the Lake Chapala Fish Community. *Lake and Reservoir Management* 28 (1): 92-104. <https://doi.org/10.1080/07438141.2012.661029>.
- Paré, L., 1989. Los Pescadores de Chapala y La Defensa de Su Lago. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO. <http://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/149/Los+pescadores+de+Chapala+y+la+defensa+de+su+lago.pdf?sequence=2>.
- Pedroza-Gutiérrez, C., 2018. Pesca Continental Retos y Perspectivas. El Caso de México. 1st ed. México: Coordinación de U;Humanidades-UNAM.
- Rosales, R., y L. Brenner. 2015. Geografía de La Gobernanza: Dinámicas Multiescalares de Los Procesos Económico – Ambientales. Edited by Siglo XXI. México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa.
- Sandoval, F., 1994. Pasado y Futuro del Lago de Chapala. Guadalajara: Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría General de Gobierno, Unidad Editorial.
- Sandoval-Moreno, A., y M. A. Ochoa-Ocaña, 2010. “Grupos Locales, Acceso Al Agua y Contaminación, En La Ciénega de Chapala, Michoacán. *Economía, Sociedad y Territorio*, 10 (34): 683-719.
- Tereshchenko, I., A. Filonov, A. Gallegos, C. Monzón, y R. Rodríguez, 2002. El Niño 1997-98 and the Hydrometeorological Variability of Chapala, a Shallow Tropical Lake in Mexico. *Journal of Hydrology* 264 (1-4): 133-46. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00066-5).
- Townsend, R.E., 1995. Fisheries Self-Governance: Corporate or Cooperative Structures *Marine Policy*, 19(1): 39-45. [https://doi.org/10.1016/0308-597X\(95\)92571-N](https://doi.org/10.1016/0308-597X(95)92571-N).
- Valbo-Jørgensen, J., D. Soto, y A. Gummy, 2008. La Pesca Continental En América Latina: Su Contribución Económica y Social e Instrumentos Normativos Asociados.” Documento Ocasional, 11, COPESCAL. Rome. <http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2009/1803/>.
- van Assche, K., A-K. Hornidge, A. Schlüter, y N. Vaidianu, 2019. Governance and the Coastal Condition: Towards New Modes of Observation, Adaptation and Integration. *Marine Policy*, January. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2019.01.002>.
- von Bertrab, E., 2003. Guadalajara’s Water Crisis and the Fate of Lake Chapala: A Reflection of Poor Water Management in Mexico. *Environment and Urbanization*, 15 (2): 127-40.
- Vörösmarty, C. J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, *et al.*, 2010. Global Threats to Human Water Security and River Biodiversity. *Nature*, 467 (7315): 555-61. <https://doi.org/10.1038/nature09440>.
- Welcomme, R., 2001. Inland Fisheries. Ecology and Management.” Rome.
- Welcomme, R., 2011. Review of the State of the World Fishery Resources: Inland Fisheries. Rome. <https://search.proquest.com/openview/fcf9473c1667452d1e045591e65c163b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=237324>.
- Welcomme, R. L., I. G. Cowx, D. Coates, C. Béné, S. Funge-Smith, A. Halls, y K. Lorenzen, 2010. Inland Capture Fisheries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1554): 2881-96. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0168>.
- Westley, F., 1995. Governing Design: The Management of Social Systems and Ecosystems Management. p. 391-427. In: *Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institu-*

- tions.,. New York, New York: Columbia University Press.
- Wolfe, M., 2013. The Historical Dynamics of Mexico's Groundwater Crisis in La Laguna. Knowledge, Resources, and Profit, 1930s-1960s. *Mexican Studies/Estudios Mexicanos*, 29(1): 3–35. <https://doi.org/10.1525/msem.2013.29.1.3>.
- Youn, So-J., W. W. Taylor, A. J. Lynch, I. G. Cowx, T. D. Beard, D. Bartley, y F. Wu, 2014. Inland Capture Fishery Contributions to Global Food Security and Threats to Their Future. *Global Food Security*, 3 (3-4): 142–48. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2014.09.005>.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Frente a la variabilidad del clima: riesgo y vulnerabilidad en las zonas costeras

M. Andrade-Velázquez

Resumen

Es conocido que el clima y la variabilidad del mismo juega un papel importante en las actividades humanas, sin embargo en las últimas décadas su influencia es mayor, esto derivado del calentamiento global que sufre el planeta por el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Esta influencia se ha reflejado negativamente en asentamientos humanos, dado que fenómenos meteorológicos se han intensificado produciendo afectaciones como inundaciones, sequías, o bien los conocidos desastres, denominados erróneamente como desastres naturales. Por tanto, se requiere una mejor planeación y gestión en los sectores de la sociedad civil que permita aumentar su resiliencia ante efectos de los cambios en el clima. Es importante resaltar que el cuidado del medio ambiente contribuye en el incremento de la resiliencia y mitigación de efectos del cambio climático y por ende de los de la

variabilidad del clima. Para lograr estos objetivos se debe conocer y/o caracterizar los fenómenos asociados al clima, identificando los riesgos y la vulnerabilidad a ellos. Es por ello que este capítulo pretende proporcionar la información que sirva de apoyo para orientar las rutas hacia una mejor comprensión y acción ante, no solo el cambio climático, sino la variabilidad natural del clima.

Palabras clave: clima, cambio climático, sistemas, socioambiental.

Introducción

En las recientes décadas se ha centrado la atención en el clima, particularmente sus efectos en asentamientos humanos. Esto ha sea derivado del cambio climático, el cual se ha reportado como cambios en los eventos extremos de fenómenos hidrometeorológicos, como son las sequías, tormentas severas, heladas u ondas de calor, mencionando algunos. Estos eventos han producido impactos en asentamientos humanos, dado que se han generado inundaciones afectando tanto económica como socialmente a las poblaciones del lugar. Otro ejemplo son las sequías, cuya duración sobrepasa los días, inclusive meses o años. Sin embargo, estos fenómenos han sido recurrentes en la historia climática del planeta y que se generan por la variabilidad natural del clima. No obstante, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC - por sus siglas en inglés) reporta que estos fenómenos se acentúan con el cambio climático, contribuyendo a la situación de riesgo y vulnerabilidad de los sistemas sociales y ambientales. Primeramente, para entender los efectos de la variabilidad del clima, se enuncian a continuación los principales factores que determinan el clima en la Tierra.

Existe en la Tierra un balance de energía que permite que los procesos físicos que regulan el clima en ella se lleven a cabo. Este

balance se da entre la energía proveniente del Sol, la cual es la fuente principal y la Tierra, mediante interacciones con la atmósfera y superficie terrestre. Entre estas interacciones se encuentran la absorción, reflexión y transmisión de la energía, ésta última esta en forma de radiación. El tipo de interacción, se determina por la composición atmosférica y superficial, con la longitud de onda de la radiación. La cantidad de energía proveniente del Sol depende de su variación intrínseca y de la cercanía de la Tierra a él, y que a lo largo del año se manifiesta como las cuatro estaciones. Además en el ecuador se recibe más energía que en los polos, sin embargo, existe un sistema que la transporta entre estos sitios, y también determina el clima en la Tierra. Produciendo lo que se conoce como las corrientes atmosféricas e influenciando en las teleconexiones, que influyen en algunos de los fenómenos hidrometeorológicos. El océano tiene un papel importante en ello y por tanto es también un regulador del clima.

Por otro lado, la Tierra ha sufrido cambios en el clima, a lo largo de su historia, donde se han presentado períodos fríos, como glaciaciones, y las cuales se registraron en ciclos y la explicación de estos se asocia a las características de la órbita de traslación y el eje terrestre, de acuerdo a

la Teoría de Milankovitch, donde factores de ajuste llevan a que estos períodos y las etapas interglaciales se lleven a cabo, con duración del orden de decenas de miles de años. El período de calentamiento conocido como el Holoceno, se mantiene presentando desde hace aproximadamente 12 000

miles de años (Mélières y Maréchal, 2010). Sin embargo, en un periodo más corto, de decenas de años se ha registrado un incremento acelerado en el calentamiento de la Tierra, al cual se dará un principal aborde en este capítulo, y es denominado como el cambio climático.

Antecedentes

La temperatura superficial del mar y de la tierra muestra una tendencia de incremento promedio desde 1850 a 2012 respecto 1961-1990, donde el promedio decenal para 2002-2012 es alrededor de 0.5 °C. Este incremento se debe no solo a factores naturales (radiación solar, erupciones volcánicas, etc.) sino a factores antropogé-

nicos (IPCC, 2013). Durante 2016, 2017 y 2018 los incrementos en la temperatura media superficial global corresponden a 0.94° C, 0.84 °C y 0.97 °C respectivamente (NOAA, 2019a). La figura 1 (tomada del IPCC, 2013), muestra el forzante radiativo de diferentes elementos que influyen en el balance energético, y repercute en el clima

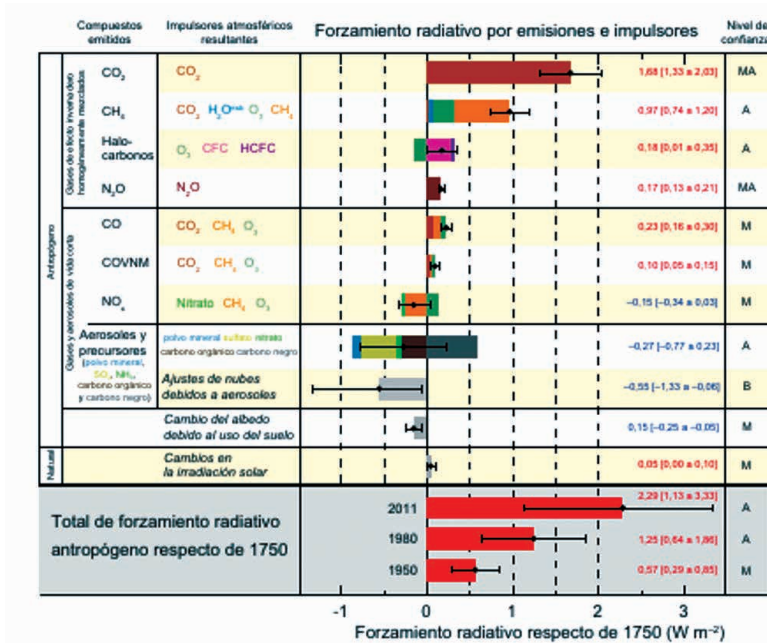


Figura 1. Forzante radiativo de gases atmosféricos y factores que influyen en el balance energético. Fuente: IPCC 2013.

global. Esta aseveración se apoya en las simulaciones de variables climáticas mediante modelos globales del clima, como ejemplo, en la figura 2 (tomada del IPCC, 2013), se puede observar el comportamiento de la temperatura que se representa bajo forzantes naturales y antropogénicos incluidos en los modelos de circulación general del clima.

Estos modelos se emplean para conocer los cambios en el clima bajo diferentes forzantes, es decir factores que condicionan el comportamiento del clima, como son las erupciones volcánicas (forzante natural) o incremento en concentraciones de gases de efecto invernadero por emisiones de actividades humanas (forzante antropogénico).

La tabla 1 (tomada del IPCC, 2013) muestra los cambios esperados para la temperatura media y el nivel del mar a mediados y finales de siglo. En el caso de la temperatura, se espera que tenga un incremento de 2.0 °C y 3.7 °C respectivamente con el escenario más extremo, el RCP 8.5. Los escenarios RCP (por sus siglas en inglés) corresponden a las siglas en inglés de Trayectorias de Concentración Representativas (Moss *et al.*, 2008), los cuales son los escenarios bajo cambio climático y desarrollados como parte del Quinto Reporte del IPCC. Estos escenarios proveen las proyecciones de la variabilidad en un período de tiempo largo (hasta finales de siglo) de las variables de las componentes del sistema terrestre, como son la

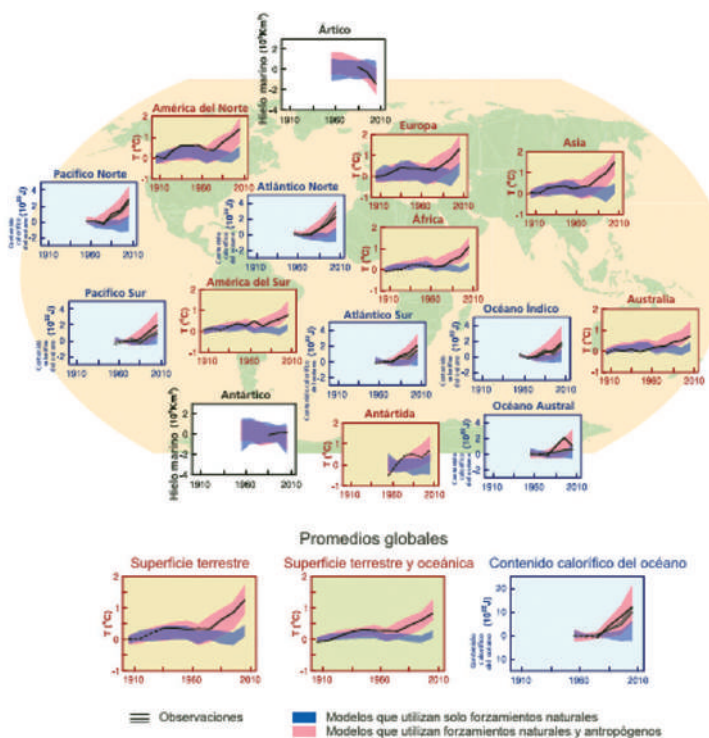


Figura 2. Representación del comportamiento de la temperatura desde 1880 hasta 2008 mediante simulaciones de modelos globales del clima. Fuente: IPCC, 2013.

Tabla 1. cambios proyectados por los escenarios bajo cambio climático de la temperatura media superficial y el nivel medio del mar. Fuente: IPCC, 2013.

	Escenario	2046-2065		2081-2100	
		Media	Rango probable	Media	Rango probable
Cambio en la temperatura media global del aire en superficie (en °C)	RCP2.6	1.0	0.4 a 1.6	1.0	0.3 a 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 a 2.0	1.8	1.1 a 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 a 1.8	2.2	1.4 a 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 a 2.6	3.7	2.6 a 4.8
Elevación media mundial del nivel del mar (en metros)	RCP2.6	0.24	0.17 a 0.32	0.40	0.26 a 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 a 0.33	0.47	0.32 a 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 a 0.32	0.48	0.33 a 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 a 0.38	0.63	0.45 a 0.82

atmósfera, océano, criósfera y superficie terrestre. Y son clasificados de acuerdo a la energía que calienta (excedente) a la Tierra y que la coloca fuera del balance energético.

A partir de esas proyecciones, se espera que el incremento de la temperatura siga teniendo variabilidad interanual y decenal y que no sea uniforme entre las regiones. Por otro lado, el nivel del mar seguirá aumentando por el calentamiento de océanos y pérdida de masa de los cuerpos de hielo (IPCC 2013). Se estima que los ciclones tropicales incrementen en intensidad y frecuencia, en particular los huracanes categoría 4 y 5. Además que las sequías sean más prolongadas (Mélières y Maréchal, 2010), la OMM reportó en 2018 (OMM, 2018), que se registraron sequías importantes en países de Europa, Oceanía y Sudamérica. Y que se presentaron ciclones más intensos en Asia. En el caso de México, en los últimos años, se han presentado huracanes de categoría 5 cercanos a las costas del océano Pacífico, Huracán Patricia en 2015 y Huracán Willa en 2018.

Derivado de esta información, los riesgos frente a los efectos de cambio climático

están ya sucediendo y son seguros para las futuras generaciones, por ello se requiere desarrollar e identificar instrumentos para el manejo de esos riesgos, los cuales se deben aplicar a nivel local, nacional y regional. Documentos de apoyo como el informe “Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático” del IPCC son invaluable ya que definen los conceptos clave que son útiles para los modelos de gestión, como la vulnerabilidad (predisposición a verse afectado), la exposición (elementos que podrían verse afectados), el desastre (alteración en el sistema que puede requerir apoyo externo para su recuperación), la adaptación (mecanismo que modera los daños y aprovecha los beneficios), el clima (fenómenos climáticos y de cambio climático bajo un esquema (ver figura 3), en el cual se conjuntan para generar el riesgo, éste último se define como la probabilidad de que se produzca una alteración grave en el funcionamiento normal del sistema (población y/o ambiente) y que requiere atención inmediata para su recuperación. Por otro lado, el sistema puede

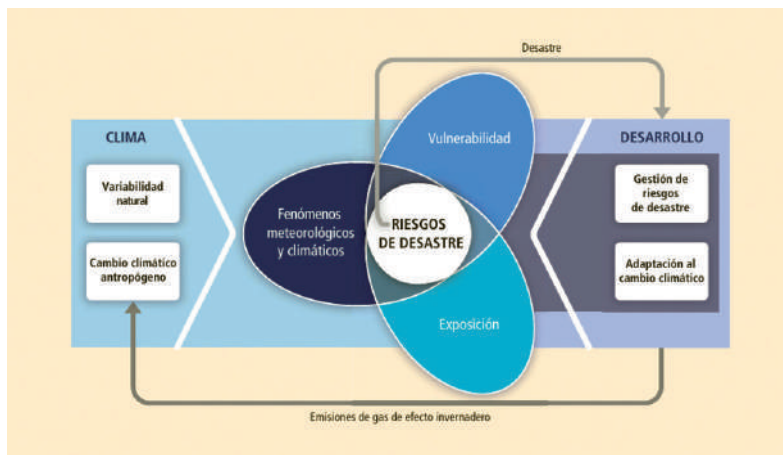


Figura 3. Modelo de Gestión de Riesgos. Fuente: IPCC, 2012.

tener la capacidad de recuperarse y adaptarse al desastre, esta capacidad se denomina como resiliencia.

No obstante, la exposición y la vulnerabilidad son dinámicas, es decir cambian en el tiempo y espacio, y dependen de diversos factores, económicos, sociales, geográficos, demográficos, culturales, institucionales, de gobernanza y ambientales. De acuerdo con el IPCC 2012, un clima cambiante se describe como los cambios en la frecuencia, la intensidad, la extensión espacial, la duración y temporalidad de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos y medios con respecto valores normales en un período de tiempo largo.

Los cambios en los fenómenos climáticos extremos se determinan a partir del análisis de datos meteorológicos observados, cuyos registros datan desde 1950, y las características como la calidad y la cantidad de los mismos permite determinar la confianza a dichos cambios, además de que tipo de fenómeno extremo se trata y la comprensión científica con la que se cuente. No obstante,

los registros del comportamiento del clima en épocas anteriores pueden describirse mediante datos proxy, por ejemplo. Los estudios sobre los eventos extremos, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial se realiza mediante los índices de detección de cambio climático mediante el equipo experto conocido como ETCCDI por sus siglas en inglés (OMM, 2009). Esta información resulta necesaria para comprender los cambios en el clima reciente. Además, se han publicado recomendaciones para proveer estudios comparativos a nivel mundial de índole nacional, de tal forma que se tenga un avance estandarizado en todas las regiones del planeta (OMM, 2017).

Por lo que, la gestión del riesgo asociados a cambios en el clima, se entiende como los procesos para diseñar, aplicar y evaluar las estrategias, políticas y medidas que se dirigen a disminuir o eliminar el riesgo, así como para su mejor comprensión y aumentar el bienestar y seguridad humana para un desarrollo sostenible (IPCC, 2012).

Vacíos

Todo el panorama anterior, nos permite identificar los factores y/o elementos que generan un riesgo asociados a cambios en el clima. Para mejorar el manejo o gestión ante un desastre asociado a un fenómeno climático, se requiere tener de apoyo a la información científica, ésta se actualiza conforme se cuenta con mejores observaciones meteorológicas y climáticas. El monitoreo del clima en México, tiene sesgos debido a la falta de instrumentos meteorológicos a lo largo del país. Además de que los datos existentes no son homogéneos, debido a que proceden de diferentes fuentes (RMCC, 2016). Existen vacíos identificados en la falta de registros en variables meteorológicas que corresponden a una buena calidad y cantidad de datos, que permitan analizar con mayor y mejor detalle el comportamiento regional del clima en las zonas costeras (RMCC, 2016). El monitoreo en el país es limitado por la disponibilidad de estaciones y su distribución espacial, aunado a que no se cuenta con información continua en periodos de tiempo mayores de 30 años a lo largo de los registros. A esto se suma la creciente demanda de análisis climáticos y meteorológicos a diferentes escalas. Colocando la necesidad de contar con la información climática como uno de los elementos importantes en la gestión del riesgo ante desastres asociados al clima.

Los instrumentos dirigidos a atender los efectos de los desastres y para la reduc-

ción del riesgo, algunos de ellos son la Ley General de Cambio Climático (LGCC), el Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio y la ley General de Protección Civil, las leyes de protección civil estatales. En el caso de las zonas costeras los programas se encaminan principalmente a la atención frente a un ciclón tropical, poniéndose en marcha al inicio de temporada de huracanes, como lo anuncia el Servicio Meteorológico Nacional, o efectos por cambios estacionales o repentinos en las condiciones normales del mar. Las acciones principales de estos programas son de alerta y de auxilio ante el desastre asociado. Otros programas nacionales, como son el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) (DOF, 2010a) y el Fondo de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) (DOF, 2010b) son los que proveen a los estados, financiamiento para atender el desastre ocurrido asociado a un fenómeno natural, como son los asociados al clima, cuando han sido o son afectados por un desastre de este tipo.

Sin embargo, la respuesta ante fenómenos extremos del clima, requieren de un monitoreo continuo tanto del fenómeno como de las zonas costeras en su conjunto para lograr aplicar los instrumentos preventivos ante el riesgo y no solo su atención durante el mismo. Además de fortalecer e incrementar los entes de investigación que se dedican al estudio del clima y zonas costeras.

Problemática

De acuerdo al estudio “Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe” por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015), los problemas en las ciudades costeras se reflejaron en la infraestructura de servicios y defensa diseñadas para condiciones climáticas diferentes a las que acontecen y acontecerán en los siguientes años debido a efectos del cambio climático. El sector turístico es de los principales afectados por fenómenos meteorológicos. Este sector tiene su importancia por ser uno de los sectores de mayores insumos en la economía del país. Pero los efectos se trasladan también a las comunidades mismas, sean ciudades o poblados, en los cuales los daños son significativos y rezagan el desarrollo sostenible. Un elemento de considerar en un desastre es la distribución de la población, ya que poblaciones con alta densidad tiene más alta probabilidad de recibir daños (Farfán, *et al.*, 2018). No obstante, los ecosistemas aledaños también son afectados, aunado a los efectos derivados actividades humanas, entre ellos, el cambio climático, ocasionando cambios en la química del océano, producción marina, redistribuciones de recursos biológicos, ocasionando afectaciones en actividades productivas como es la pesca. Sin embargo los efectos se perciben también en continente, en los diferentes sistemas sociales y ambientales.

Los principales fenómenos meteorológicos y climáticos que influyen en México, son huracanes, frentes fríos, El Niño/Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO, por sus siglas en inglés), Monzón, Zona de Inter-

tropical de Convergencia (ZITC). Donde sus efectos por eventos extremos conllevan a episodios de inundaciones y/o sequías en las zonas de las comunidades, conjugados con los problemas sociales de las mismas se generan los desastres.

Estos fenómenos son naturales del clima en la Tierra, sin embargo, están sujetos a cambiar en sus eventos extremos por el cambio climático, y producir afectaciones extraordinarias, dado que la prevención o adaptación desarrollada bajo condiciones climáticas anteriores a tales eventos no necesariamente responde a los nuevos sucesos. Los reportes de afectaciones en México por un desastre asociado a un fenómeno meteorológico, se concentran en Huracanes y Sequías (SEMARNAT, 2012). Donde ambos fenómenos afectan a México y por ende a sus costas. La capacidad de respuesta ante un evento meteorológico, como es un huracán o un ciclón tropical, dependen de entre otros factores, de la intensidad y duración de la perturbación (Farfán *et al.*, 2018), desde el punto de vista meteorológico. Sin embargo, la respuesta depende de la resiliencia del sistema, de las medidas y acciones que se establezcan en la zona para atender un evento y mitigar el desastre.

Sobre efectos derivados al cambio climático, en los litorales de México, se reporta que ha habido incrementos de días cálidos para los estados de Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Oaxaca. Mientras que para Jalisco, Nayarit, Tamaulipas, Chiapas y Península de Yucatán son decrementos de estos días (RMCC, 2016). Mientras que eventos de precipitación extrema, se relaciona su frecuencia con la fase fría del ENSO en combinación con la fase positiva de la PDO en la zona sur del país (RMCC, 2016).

Los efectos del cambio climático también dependerán del grado de vulnerabilidad de los sistemas (socioambientales), ya que sus componentes sociales y/o económicos en distintas zonas la incrementan o disminuyen (Rivera-Arriaga, 2017). Por tanto, encaminarse a la respuesta de la gestión

del riesgo ante desastres asociados a fenómenos climáticos, requiere resolver la falta de información climática a nivel local y de centros de investigación que apoyen en el estudio y monitoreo del clima y del socioecosistema.

Monitoreo

Los sistemas en las zonas costeras son sistemas socio-ecológicos, los cuales son complejos y contienen distintos componentes, culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos, etc., que definen el entorno (Frausto-Martínez *et al.*, 2016). Por lo que se debe contar con indicadores que sirvan en la gestión del riesgo, con la finalidad de monitorear el problema. Para ello, un indicador se define como una medición, cuantitativa o cualitativa que se deriva de una observación. El monitoreo que apoye en la toma de decisiones consiste en (Frausto-Martínez *et al.*, 2016):

- Análisis de pertinencia del indicador para la toma de decisiones.
- Obtención de datos, su análisis y los umbrales pertinentes.
- Comprensión del indicador.
- Capacidad de predicción para prevenir cambios o problemas significativos.
- Valoración de indicadores, de acuerdo a su importancia y urgencia de uso.

Para determinar los cambios del clima en las zonas costeras, se requiere de instrumentos meteorológicos, sin embargo, no se cuenta con la suficiente red de estos para el monitoreo. Por lo que se debe recurrir a

datos satelitales principalmente y que son albergados por instancias internacionales. Es entonces que para establecer un monitoreo conjunto, se debe realizar el monitoreo tanto del ambiente como del social. En el caso de efectos por huracanes, las variables físicas del sistema son: viento, lluvia, oleaje y marea de tormenta, mientras que las variables del entorno son: social, económico, natural, organizacional y cultural (Frausto-Martínez *et al.*, 2016).

La importancia del monitoreo se basa en su continuidad a largo plazo, de tal manera que se cuente con suficiente información para el desarrollo de estudios locales y regionales, con instrumentos y/o herramientas en condiciones óptimas para generar la información adecuada. Por lo que el monitoreo, es una base para desarrollar sistemas de alerta e instrumentos de gestión ante riesgos de desastre. No obstante, se requiere de unidades de almacenamiento estables para el resguardo de la información generada por el monitoreo y por los estudios e investigaciones realizadas que contribuyen al conocimiento y mejora de los mecanismos ante desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y/o climáticos.

Aprendizaje

Las demandas de conocimiento ante los retos de la humanidad se han presentado a lo largo de la historia, donde la observación del entorno y del universo han sido pilares para responder a los riesgos a los que ésta se enfrenta. Por ello, el desarrollo de la ciencia requiere de un constante fortalecimiento e impulso, de tal manera que se incrementen los espacios e investigadores científicos para atender estas demandas.

La prevención de riesgos y disminución de la vulnerabilidad de los sistemas socioambientales a corto, mediano y largo plazo son objeto para el manejo integrado de las zonas costeras, incrementando la resiliencia de los sistemas (Rivera-Arriaga, 2017). Se conocen los principales fenómenos climáticos a los que están expuestas las zonas costeras y zonas en continente, sin embargo, estos son dinámicos en espacio y tiempo, es por eso que su estudio debe ser también. A continuación se enuncian a algunos fenómenos.

Huracanes

Es un ciclón tropical, que se forma de la interacción océano-atmósfera dando lugar a la formación de centros de baja presión y cuya estructura se da por la rotación de la Tierra. Se caracteriza por tres elementos: ojo del huracán y su pared, y bandas nubosas. Su desarrollo proviene de las etapas de depresión tropical y tormenta tropical. El alcance espacial de estos fenómenos es de cientos de kilómetros en terreno, se caracteriza de fuertes vientos e intensa lluvia (SEMARNAT, 2016). Los desastres asociados a ellos son inundaciones, deslaves y caídas de infraestructura principalmente.

Frentes fríos

Los frentes fríos se forman cuando una masa cálida es reemplazada por una fría, la separación entre ellas se denomina frente. Los frentes se desplazan de oeste a este en el hemisferio Norte y van acompañados de fuertes vientos que van de norte a sur, estos se conocen también como efecto “Norte”. Los frentes fríos generalmente producen precipitación (SEMARNAT, 2016).

Monzón

Se denomina al fenómeno que se presenta a mitad del año, en la estación de verano por cambios de presión entre continente y océano Pacífico, donde la temperatura de continente es mayor a la del océano, provocando la entrada de humedad a continente (García y Trejo, 1994). En esa época se produce del 60 % al 80 % de la precipitación en el norte del país (Cavazos y CICESE, 2019). Dado que este fenómeno se caracteriza por lluvias torrenciales (CONAGUA, 2016).

El Niño-Oscilación del Sur

Es un sistema oceánico-atmosférico, que modula el clima global y regional. Se conforma de la combinación de cambios de presión en la atmósfera, conocido como Oscilación del Sur y cambios en la temperatura superficial del mar, El Niño, que ocurren en el océano Pacífico central y este ecuatorial. Sus fases son neutra, fría y caliente. El índice que se usa para estimar la fase del ENSO (por sus siglas en inglés), es el ONI. Este fenómeno tiene influencia particular en la precipitación en México (Méndez *et al.*, 2010). Los desastres asociados son inundaciones y sequías.

Oscilación Decadal del Pacífico

Se reconoce como una oscilación de largo periodo en el océano Pacífico, se conoce por sus siglas en inglés PDO, cuyos efectos se perciben en la parte norte de este océano (Méndez *et al.*, 2010). Se mide mediante las anomalías de la temperatura superficial del mar en esa zona, se manifiesta en fase positiva y negativa de la misma (Deser, *et al.*, 2016). Sus características son tipo ENSO con la diferencia que la última es interanual pero se le asocian los mismos eventos de desastres.

Oscilación Multidecadal del Atlántico

La AMO, por sus siglas en inglés, corresponde a una oscilación de largo periodo, aproximadamente de 20-40 años en el Océano Atlántico Norte, se mide por las anomalías en esa zona de la temperatura superficial del mar. Sus efectos se perciben en el Atlántico desde el Ecuador hasta Groelandia. Cuenta con fase positiva y negativa y se le asocian fuertes lluvias y sequías. Y se sugiere que la fase positiva se vincula con huracanes en esa zona de mayor intensidad (NOAA, 2019b).

Zona Intertropical de Convergencia

La zona intertropical de convergencia es una banda nubosa que se produce por el encuentro de los vientos alisios y se localiza en el Ecuador la mayor parte del año. Durante verano se desplaza hasta unos 20 grados de latitud norte. En esta zona se originan ciclones tropicales (García y Trejo, 1994) y produce precipitación en el sur del país.

De acuerdo con SEMARNAT (2012), las lecciones aprendidas en la prevención de riesgos y disminución de la vulnerabilidad de los socioecosistemas ante efectos del cambio climático son:

- El tema de desarrollado sustentable y adaptación al cambio climático se aborda desde hace décadas, y con la publicación de la LGCC, se refuerza. Sin embargo se requiere consolidar en el quehacer de las instituciones, y generar los mecanismos para articular y transversalizar instrumentos y objetivos en los tres ordenes de gobierno.
- La investigación referente a temas sociales, ecológicos y económicos vinculada al cambio climático se requiere robustecer.
- Que la planeación a mediano y largo plazo para fortalecimiento de capacidades y el ejercicio de recurso sea multianual.
- Crear mecanismos para que la sociedad se capacite, se informe y participe, así como incorporar la experiencia, el conocimiento y las necesidades locales.

A lo anterior se suma la demanda de la conservación y mejora de estaciones de monitoreo del clima a lo largo del país, ya que permitirá contar con una mejor calidad de datos, que son insumo de los estudios y análisis de los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos. Así como fortalecer las instituciones nacionales donde se realicen los estudios científicos para la comprensión del clima global, regional y local (en temas hidrometeorológicos y climáticos) y del desarrollo de los recursos humanos en el tema.

Recomendaciones

La importancia del análisis del clima y los fenómenos hidrometeorológicos se reconoce a nivel global, dado que las afectaciones derivadas ante los eventos asociados a ellos resultan exorbitantes. Los objetivos de desarrollo sostenible (NU, 2015), incluyen el objetivo 13 “Acción por el clima”, señalándolo como una de las partes para alcanzar un mejor desarrollo y bienestar de socioecosistemas, como es planteado en sus metas:

- 13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.
- 13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
- 13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.
- 13.a Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100 000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación.
- 13.b Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos

adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.

Por ello, los planes de gestión deben ser retroalimentados dinámicamente con información y análisis climáticos para atender los nuevos eventos de los fenómenos hidrometeorológicos a los que los socioecosistemas están expuestos, manteniendo un protocolo estándar tanto a nivel federal, como estatal y local mas allá de diferentes periodos de tiempo. Teniendo en cuenta que los sistemas son dinámicos y para las siguientes generaciones los efectos por los fenómenos climáticos variaran de lo que normalmente se han presentado.

Es así que, las acciones necesarias para apoyar las decisiones frente a eventos extremos climáticos son:

- La vinculación participativa con instituciones de investigación de tal manera que sirvan para actualizar y mejorar las capacidades en los tres ordenes de gobierno en el tema científico de la variabilidad del clima y cambio climático.
- Revisar los instrumentos normativos nacionales y locales, de tal manera que se identifiquen los correspondientes a su labor diaria para su aplicación y/o actualización, así como impulsar su elaboración y/o desarrollo en los vacíos existentes, apoyados en la investigación científica de los sistemas socioambientales.
- Vincularse con la sociedad en su conjunto y consolidar los programas que responden a sus necesidades en los tres plazos, corto, mediano y largo.

Agradecimientos

Agradecimiento al Dr. Montero-Martínez por su retroalimentación para la escritura

de este capítulo. Asimismo como a las Redes Temáticas RICOMAR y REDESCLIM

Literatura citada

- Cavazos, T., y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), 2018. Variabilidad intraestacional del monzón en el noroeste de México. Sitio visitado en febrero 2018: https://cicese-at.cicese.mx/int/index.php?mod=proy&op=fproy&cid_proy=O-0F018&dep=6201.
- CEPAL, 2015. Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, tendencias y variabilidad climática. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas. 2015.
- CONAGUA, 2016. Inició el Monzón de Norteamérica en el noroeste de México. Comisión Nacional del Agua (2016). Sitio visitado en febrero 2019. <https://www.gob.mx/conagua/prensa/inicio-el-monzon-de-norteamerica-en-el-noroeste-de-mexico>.
- Deser, C., K. Trenberth, y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2016. The Climate Data Guide: Pacific Decadal Oscillation (PDO): Definition and Indices. Last modified 06 Jan 2016. “
- DOF, 2010a. Diario Oficial de la Federación. DOF: 03/12/2010.
- DOF, 2010b. Diario Oficial de la Federación. DOF: 23/12/2010.
- Farfán, L., M. Castillo-Bautista, N. Blanca, y J.L. Vázquez-Aguirre, 2018. Desastres asociados a ciclones tropicales en la Costa Occidental de México: 2011-2015. En: J. M. Rodríguez Esteves *et al.*, coordinadores. Capítulo en Riesgo de desastres en México: eventos hidrometeorológicos y climáticos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. 440 p. ISBN: 978-607-8629-03-9.
- Frausto-Martínez, O., A.B. Vázquez-Sosa, O. Colín-Olivares, M.L. Hernández-Aguilar, L. Arroyo-Arcos, y D. Velázquez-Torres, 2018. Monitoreo de indicadores de resiliencia urbana ante huracanes para las ciudades costeras: Playa del Carmen, caribe mexicano. En: J. M. Rodríguez Esteves *et al.*, coordinadores. Capítulo en Riesgo de desastres en México: eventos hidrometeorológicos y climáticos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. 440 p. ISBN: 978-607-8629-03-9.
- García, E., y R. I. Trejo, 1994, La presencia del monzón en el noroeste de México, Investigaciones Geográficas *Boletín del Instituto de Geografía*, 28: 33-64.
- IPCC, 2012.: Resumen para responsables de políticas en el Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático [edición a cargo de C. B. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, y P. M. Midgley]. Informe especial de los Grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, Estados Unidos de América, págs. 1-19.
- IPCC, 2013. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Mélières, M.-A., y C. Maréchal, 2010. Climate change: past, present, and future. Translated by Erik Geissler and Catherine Cox (2015). UK. Editorial: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 978-1-118-70852-1 (cloth) - ISBN 978-1-118-70851-4 (pbk).

- Méndez González, J., A. Ramírez Leyva, E. Cornejo Oviedo, A. Zárate Lupercio, y T. Cavazos Pérez, 2010. Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones Geográficas*, (73): 57-70.
- Moss, R. H., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J. Francois Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P. Runci, R. Stouffer, D. van Vuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J. Pascal van Ypersele, y M. Zurek, 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 p.
- NOAA, 2019a. National Oceanic & Atmospheric Administration. National Centers for Environmental Information. Sitio visitado en abril 2019: <http://www.ncdc.noaa.gov>.
- NOAA, 2019b. National Oceanic & Atmospheric Administration. Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory. Sitio visitado en febrero 2019: http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php.
- NU, 2015. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Naciones Unidas. 2015. Sitio visitado enero 2019: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2>
- OMM, 2009. Guía sobre: Análisis de extremos en un clima cambiante en apoyo a decisiones informadas para la adaptación. ETCCDI. Datos climáticos y Monitoreo. Organización Meteorológica Mundial 2009. Ginebra, Suiza.
- OMM, 2017. Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima. Organización Meteorológica Mundial. Edición 2017. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), (2018). Sitio visitado en febrero 2019. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/las-se%C3%B1ales-y-los-efectos-del-cambio-clim%C3%A1tico-se-mantienen-en-2018>.
- Rivera-Arriaga, E., 2017. La vulnerabilidad costera: elementos para la construcción de su resiliencia. p. 1-28. En: Botello A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. ujat, unam, uac. 476 p.
- RMCC, 2016. Reporte Mexicano de Cambio Climático. Grupo 1 Bases Científicas, Modelos y Modelación: Resúmenes (2016). Editores: Carlos Gay y García y Angelina Cos Gutiérrez. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 2016. ISBN 978-607-02-8617-9.
- SEMARNAT, 2012. Adaptación al cambio climático en México: Visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. Primera edición 2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. ISBN: 978-607-8246-41-0.
- SEMARNAT, 2016. Servicio Meteorológico Nacional, tiempo y clima. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. ISBN: 978-607-626-037-1.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Análisis comparado de los impactos económicos y sociales ante el cambio climático en municipios costeros del noreste del golfo de México

*R. Tovar Cabañas, R. C. Vargas Castilleja,
J. C. Rolón Aguilar y J. Treviño Trujillo*

Resumen

La vulnerabilidad de las regiones costeras es un tema de prioridad nacional ante el riesgo inminente de los efectos del cambio climático y su impacto directo en los asentamientos humanos, actividades económicas, entre otras. La importancia de este estudio se centra en la incertidumbre del cambio climático, que aunada al incremento de fenómenos hidrometeorológicos repercute en el desarrollo endógeno de las ciudades costeras de México. Por tal razón, esta investigación tuvo como objetivo discernir

los impactos económicos y sociales que podrían suceder en los municipios de Ciudad Madero y Altamira, Tamaulipas, bajo el escenario de un incremento imprevisto en el nivel del mar de cinco metros. Los pasos metodológicos consistieron en territorializar y caracterizar a los grupos vulnerables que se encuentran dentro de la zona de riesgo. Adicionalmente al análisis cuantitativo, se aplicaron algunas técnicas cualitativas y trabajo de campo con miras a vertebrar un enfoque interdisciplinario. Uno de los resultados más significativos indica que, si el municipio de Ciudad Madero tuviera una inundación de cinco metros sobre el nivel del mar, sus pérdidas materiales superarían los 100 mil millones de pesos, mientras que para el caso de Altamira representa la décima parte del municipio de Ciudad Madero. Con base en lo anterior, es necesario que las políticas sean dirigidas a grupos vulnerables específicos para reducir la sensibilidad de los sistemas y desarrollar ciudades costeras resilientes.

Palabras Claves: geografía litoral, vulnerabilidad sociocultural, impacto económico.

Introducción

A lo largo de las primeras décadas del presente siglo se han elaborado diversos trabajos científicos cuyo objetivo ha sido intentar documentar la estrecha relación que existe entre el cambio climático y la fragilidad de las regiones costeras, sobre sale lo hecho por Pérez y Ortiz (2002) que mediante percepción remota, lograron documentar el incremento hidrométrico de las subcuencas de la margen derecha del río Papaloapan. Lo loable de este y otros trabajos pioneros, radica en que han insistido en revalorar el análisis de las condiciones del cambio climático en las regiones costeras. Es preciso señalar que aún hace falta resolver otras incógnitas, como conocer, precisar y georreferenciar el número de las hectáreas, personas y economías afectadas ante escenarios plausibles como lo es una elevación de cinco metros del nivel del mar durante algún hidrometeoro.

Los asentamientos costeros del noreste de México siempre han padecido inundaciones, tan sólo en el siglo XIX ocurrieron 13 de significativa consideración (Esco-

bar, 2004), es por esa razón que sus edificaciones históricas presentan una fuerte diferenciación de nivel de banquetas dados los frecuentes desbordamientos de los ríos Panuco y Tamesí.

Debido a lo anterior, en la región se hicieron estudios sobre el problema de las inundaciones (López, 1961) proponiendo algunas soluciones viables en aquel momento. A comienzos de siglo XXI, Jiménez (2007) analiza los riesgos de inundación de la conurbación Tampico, Madero y Altamira. Según este autor, tales inundaciones se deben a la fisiografía natural de la bahía y a una ausencia de planificación territorial. García (2008) mediante un análisis del comportamiento estadístico de los ciclones tropicales determinó que siete colonias, principalmente del sur de Ciudad Madero eran las más vulnerables. Para este caso, Batres (2012) documentó la invasión de zonas cercanas a ríos y lagunas por parte de los procesos de crecimiento periurbano. Este especialista en medio ambiente comenta que la planeación en el crecimiento

urbano sólo se cumple, pero no se implementa, por consecuencia la población se ha ido asentando en zonas donde los lugares son insalubres poniendo en riesgo la salud y la seguridad. Concluye que realmente las lagunas y ríos se encuentran dañados por actividades antropogénicas. De allí que Lusett y Bartorila (2017) proponen un proyecto que impulse la forestación de la zona lagunar en Ciudad Madero, Tamaulipas, específicamente en el humedal llamado Nuevo Amanecer, al igual que las zonas urbanas circundantes, pues mencionan que los árboles funcionan como protección eficaz ante ciclones entre otros hidrometeoros.

Todos esos antecedentes han contribuido a entender el riesgo de inundación al que se exponen las manchas urbanas del sur de Tamaulipas, producto de la invasión urbana hacia las zonas de manglar, como ocurrió en 2017, con el huracán Katia, sobre todo en las colonias adjuntas a dichas zonas lagunares. Sin embargo, aún hace falta delimitar con mayor precisión las zonas bajas de dichos municipios, además de desagregar los grados de vulnerabilidad que tienen las colonias más expuestas a los hidrometeoros en caso de que el nivel del mar suba cinco metros durante alguna contin-

gencia derivada del cambio climático. La presente investigación se centró en determinar la cota de cinco metros para a partir de ella, definir las áreas urbanas de mayor exposición a las fuerzas de la naturaleza de carácter hidrometeorológico y, por otro lado, determinar el nivel de vulnerabilidad de estas mediante técnicas geoestadísticas y geomáticas que a continuación se detallan. La cota cinco metros es representativa de la zona debido a impactos históricos que se suscitaron en 1955 ocasionando graves daños, el huracán Gladis, Hilda y Janet, produjeron inundaciones en la zona conurbada del sur de Tamaulipas alcanzando la cota máxima histórica hasta el momento de 5.83 msnm. Estos eventos hidrometeorológicos extremos impactaron con pérdidas materiales, daños en la industria, ganadería, agricultura y en las vías de transporte y comunicación, principalmente por la falta de control en las avenidas o escurrimientos provenientes de las partes altas de la cuenca (López, 1961).

Con base en las aportaciones científicas de los efectos el cambio climático, es posible que este tipo de sucesos se presenten nuevamente impactando con mayor severidad al sector económico y social.

Metodología para la determinación de las cotas de cinco MSNM

Para definir la cartografía y el análisis espacial se revisaron algunos softwares especializados en el manejo de información geofísica y altimétrica que tuvieran la capacidad de desagregar datos con una resolución de 20 m para garantizar la más factible de las

coberturas posibles para la región costera del norte del golfo de México. Los sistemas de información geográfica o softwares analizados fueron: ENVI, ARCGIS, Global Mapper, QGIS y gvSIG. Se decidió trabajar con la versión de gvSIG 2.4, pues este software

brindó la posibilidad de manejar información de otras fuentes como: Google Earth, 3D-Route Builder 1.3.9.0, TCX-Converter 2.0.30, y Quikgrid 5.4.

También se revisaron cinco bases de datos altimétricas que se pudieran georreferenciar con una resolución de 20 m y una equidistancia de un metro entre curvas de nivel: Space Shuttle Radar Topography Mission, ASTER Global Digital Elevation Model, JAXA's Global ALOS 3D World y LIDAR. De las cinco bases, fue imposible obtener información de equidistancia menor a cinco metros, con resolución horizontal de 20 metros, por lo que se tuvo que idear un método capaz de generar cartografía vectorial a escalas grandes, de 1: 5 000 con equidistancia cada un metro, pero en formato shape compatible con softwares vectoriales de acceso libre. Se describe la ruta metodológica que ayudó a producir una cartografía digital (figura 1) con una equidistancia menor a un metro y una resolución horizontal de 20 m, la cual constó con las etapas siguientes:

- En una hoja de cálculo de Open Office 4.1.1, se construyó una base de datos de coordenadas UTM, con una equidistancia de 20 m en mallas con cobertura de 10 x 10 km. El documento de salida fue un archivo con formato DBF.
- Cada malla de 10 x 10 km se abrió desde GvSig para generar un mapa vectorial de puntos. El documento de salida fue un archivo con formato SHP.
- Topológicamente, se transformó el mapa de puntos en un mapa de líneas denominado polilínea. El documento de salida fue un archivo con formato KML.
- El mapa de líneas se abrió desde Google Earth para asignarle un datum compatible y para potenciar la posibilidad de albergar una coordenada z. El documento de salida fue una base de datos con coordenadas X, Y, pero con valores 0 para la coordenada z, todo en formato KML.
- Se transformó la base de datos X, Y, 0 a X, Y, Z mediante el uso de 3D-Route Builder. El documento de salida fue una

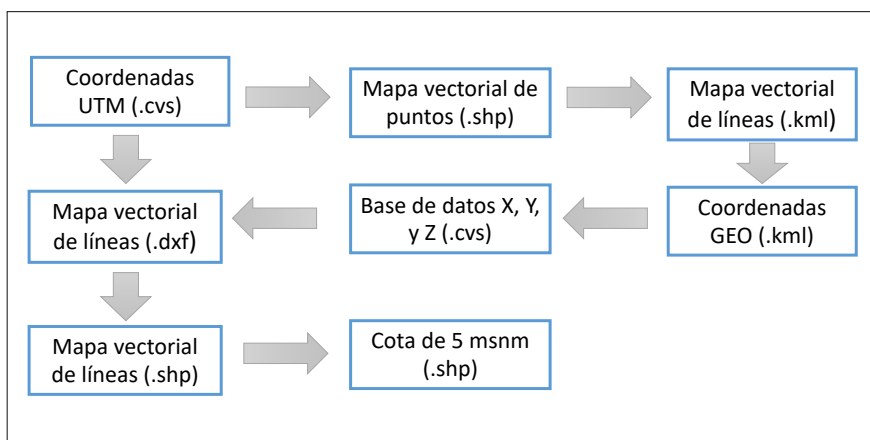


Figura 1. Etapas para la construcción de una curva de nivel usando datos satelitales.
Fuente: Elaboración propia.

base de datos con coordenadas X, Y, Z en formato KML.

- Con ayuda de TCX-Converter la base de datos X, Y, Z.KML se exportó a formato CSV.
- La base de datos X, Y, Z. csv se abrió desde Quikgrid para generar una interpolación en función de la coordenada z. La equidistancia asignada fue un metro y la resolución horizontal fue de 20

metros. El documento de salida fue un mapa topográfico virtual con formato DXF.

- Geométricamente, desde GvSig, se abrió el mapa topográfico virtual para transformarlo de formato DXF a formato SHP. Todo el proceso se iteró hasta confeccionar la cota de interés, en este caso la de cinco msnm (figura 1).

Metodología para determinar los índices de vulnerabilidad social

En este trabajo se seleccionaron indicadores que ayudaron a definir los niveles de vulnerabilidad social, a los que se encuentran sujetas las distintas áreas geoestadísticas básicas de los municipios de Ciudad Madero y Altamira, Tamaulipas, los cuales fueron discutidos y justificados desde el punto de vista socioespacial, con la intención de tener un marco epistemológico acorde con el objetivo. En ese sentido, la propuesta consta de 18 indicadores básicos (tabla 1), agrupados en cinco dimensiones de vulnerabilidad, a saber: densidad, estructura poblacional, estructura social, estructura política y capacidad de resiliencia, todos ellos formaron parte del análisis cuantitativo. A continuación, se detalla cada una de estas dimensiones.

Densidad

Conforme con Rengifo (2008), hoy en día se reconoce que la salud no puede separarse de una serie de elementos ambientales vinculados directamente con el hacinamiento urbano, es decir, de la salud ambiental depende tanto el hacinamiento, como la calidad de vida. Algunos autores conside-

ran que la ecología y el medio social contribuyen con el 55 % de los determinantes ambientales de la salud ambiental, por lo que los cambios negativos en el medio ambiente ocasionarán perjuicios sobre la salud humana, dígase vulnerabilidades sociales. El criterio es: a mayor densidad mayor vulnerabilidad ante enfermedades zoonóticas, endemias y epidemias.

Estructura poblacional

Desde la década de 1950 se estudia el efecto que tiene la edad en la regulación de la temperatura de las personas, particularmente en la tercera edad. Sin embargo, el estudio de la vulnerabilidad como un proceso vertebrado al envejecimiento fue descrita por Collins, *et al.* (1981) quienes comprendieron cómo la temperatura del ambiente impacta de manera diferencial a hombres mayores de 70 u 80 años en comparación con hombres jóvenes de edades entre 18 y 19 años, es decir, las personas de la tercera edad son más vulnerables, de modo que las áreas con elevadas tasas gerontológicas son más vulnerables que las áreas con población en edad laboral.

Tabla 1. Estructura básica de indicadores para índices de vulnerabilidad social.

Dimensión	Indicador	Ejemplos de confección y aplicación en la literatura especializada
Densidad.	Densidad de población*.	Reckien, D., 2018. What is in an index? Construction method, data metric, and weighting scheme determine the outcome of composite social vulnerability indices in New York City. <i>Regional Environmental Change</i> , 1-13.
	Densidad Arquitectónica*.	Molini, F., y M. Salgado, 2012. Los impactos ambientales de la ciudad de baja densidad en relación con los de la ciudad compacta. Biblio 3W. <i>Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales</i> , (958).
	Hacinamiento.	Linares, S., 2013. Las consecuencias de la segregación socioespacial: un análisis empírico sobre tres ciudades medias bonaerenses (Olavarría, Pergamino y Tandil).
Estructura Poblacional.	Tasa de vejez.	Rodríguez Cabrera, A., y L. Álvarez Vázquez, 2006. Repercusiones del envejecimiento de la población cubana en el sector salud. <i>Revista Cubana de Salud Pública</i> , 32(2), 0-0.
	Tasa de manumisión.	Peralta, E., 2010. Perspectiva laboral en México, 2008-2030. <i>Comercio Exterior</i> , 60(3): 195-208.
	Tasa PEI.	Peralta, E., 2010. Perspectiva laboral en México, 2008-2030. <i>Comercio Exterior</i> , 60(3): 195-208.
Estructura Social.	Tasa de nuevos vecinos.	
	Minorías étnicas.	Reckien, D., 2018. What is in an index? Construction method, data metric, and weighting scheme determine the outcome of composite social vulnerability indices in New York City. <i>Regional Environmental Change</i> , 1-13.
	Tasa de discapacitados.	Alegre Escolano, A., M. Ayuso Gutiérrez, M. Guillén Estany, M. Monteverde Verdenelli, y E. Pociello García, 2005. Tasa de dependencia de la población española no institucionalizada y criterios de valoración de la severidad. <i>Revista Española de Salud Pública</i> , 79: 351-363.
Estructura Política.	Bajo nivel educativo.	Mesa Trujillo, J. A. Modelo de Geo-Análisis para la Medición del Analfabetismo en Áreas Rurales del Departamento de la Guajira como Apoyo a la Toma de Decisiones Educativas.
	Tasa de desempleo.	Frenkel, R., 2004. Real exchange rate and employment in Argentina, Brazil, Chile and Mexico. Group of, 24.
	Porcentaje de población sin derechohabencia.	Puentes-Rosas, E., S. Sesma, y O. Gómez-Dantés, 2005. Estimación de la población con seguro de salud en México mediante una encuesta nacional. <i>Salud pública de México</i> , 47(1).
Capacidad de respuesta.	Porcentaje con viviendas con piso de tierra.	INEGI, 2011.
	Carencia de electricidad**.	López Pardo, C. M., 2004. El desarrollo humano y la equidad en Cuba: una visión actualizada. <i>Revista Cubana de Salud Pública</i> , 30(1).
	Carencia de drenaje**.	Montes, V., y E. Ortega, 2003. Ubicación de la marginación en el área metropolitana de Monterrey. In Memorias Congreso de Investigación y Extensión XXXIII. Monterrey, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).
	Viviendas con posibilidad de reservas alimenticias**.	INEGI (2011).
	Posibilidad de escape por vía automotriz**. Carencia de internet**.	INEGI (2011).

* El procesamiento de estos indicadores requirió, además de los datos sociodemográficos del INEGI, información geoespacial, misma que se obtuvo del mismo INEGI.
** Estos indicadores fueron procesados en negativo para que los valores resultantes fueran coherentes con el resto de las variables empleadas en la construcción del índice de vulnerabilidad social.
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2011a).

En el caso de los niños, dada su escasa experiencia cognitiva ante los peligros de la naturaleza presentan mayor vulnerabilidad física, psicológica y educativa.

Estructura social

En cuanto a la estructura social, en esta investigación se consideró que una migración desordenada contribuye a que mayor cantidad de gente se encuentre desprovista de las claves socioambientales para afrontar las fuerzas de la naturaleza, de modo que la tasa de migrantes sobre población total es un indicador de vulnerabilidad dentro de contextos socioespaciales (Nguyen *et al.*, 2015).

Sobre la vulnerabilidad y las minorías étnicas, Saideman (1997) señala que los pueblos étnicos aparte de ser grupos marginales suelen ser invisibilizados no sólo por el resto de la sociedad, sino también por el mismo estado, por lo que cultural y lingüísticamente suelen quedar aislados, esta condición les reduce sus probabilidades de recibir servicios de salud y asistenciales, lo que resulta en elevados niveles de vulnerabilidad. Este hecho es significativo debido a que, en el norte y el noreste de México, es donde más se aglutina la población migrante.

Capacidad de respuesta

Simultáneamente la justificación del índice de vulnerabilidad social llevó a considerar la capacidad de respuesta de las áreas estudiadas, Rojas (2004) señala que las viviendas precarias suelen estar caracterizadas por tener pisos y patios de tierra o áreas no embanquetadas, en donde se dan todos los factores predisponentes para el florecimiento de diversas parasitosis (López *et al.*, 2005). Por ejemplo, en el noreste de México los principales factores de riesgo de la vivienda con piso de tierra condujeron a

la prevalencia de la enfermedad de Chagas (Segura y Escobar, 2005), y todo esto ayudó a vincular la cantidad de viviendas con pisos de tierra con condiciones de vulnerabilidad. También, la vulnerabilidad social se relaciona con hogares sin redes técnicas, dentro de las cuales la provisión de energía eléctrica es una determinante de peso, puesto que dichas redes constituyen la interfaz entre la infraestructura básica de las viviendas y el ambiente físico donde éstas se asientan (Rojas *et al.*, 2008).

Como indicador, el drenaje ha sido empleado por el índice de rezago social y el índice de marginación (Alvarado *et al.*, 2016), también la densidad de drenaje ha sido empleada para elaborar el índice de compacidad para estimar la incidencia de inundaciones (Gaspari 2011).

El último indicador revisado dentro del bloque dimensión resiliente fue el concerniente a la disponibilidad de automóvil. Al respecto, se sabe que las ciudades contemporáneas están configuradas para el automóvil, en donde quien no tiene automóvil queda vulnerado por no tener acceso a la ciudad (Gutiérrez y García, 2005), por lo tanto, algunos como Gutiérrez (2012), consideran que la ausencia de este bien se vincula directamente con la marginación o vulnerabilidad

El Índice de Vulnerabilidad Social (ivs) favorece a los distintos grupos de funcionarios, puesto que brinda herramientas para dar respuesta a las emergencias mediante la identificación y el mapeo de las colonias con mayor susceptibilidad antes, durante y después de un evento peligroso, por ejemplo, ante una crecida del nivel del mar de cinco metros es útil conocer a que distancia se encuentran los escasos albergues, así como la cantidad de personas que no cuentan con medio de transporte para acudir a

los mismos. El índice descrito se replicó en los diferentes municipios bajo estudio, por lo que es posible contribuir al desarrollo de medidas preventivas ante zonas de riesgos debido a su grado de sensibilidad.

Desde este enfoque, la pertinencia de los estudios de vulnerabilidad representa una

herramienta para analizar los impactos de los escenarios derivados del cambio climático. Con base en ello, la presente investigación cuantificó el grado de vulnerabilidad de los habitantes de los municipios de Ciudad Madero y Altamira, Tamaulipas.

Área de estudio

Los municipios de Ciudad Madero y Altamira se ubican en asientan sobre la llanura costera del golfo de México, al noreste de la sierra de San Fernando, en términos geológicos su suelo se constituye de depósitos de aluvión cuaternario que suelen estar bajo las influencias de un clima semicálido y subhúmedo en verano; llegando incluso a ser semiseco muy cálido y con escasa humedad media (INEGI, 2009). Dichas localidades pertenecen al estado de Tamaulipas (figura 2). El 82 % de su clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mediana humedad. Dicho territorio está compuesto de un considerable sistema lagunar, por lo que no es de extrañar que las inundaciones han sido los eventos más frecuentes en los últimos 30 años según la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (2018).

Es decir, en los municipios de Ciudad Madero y Altamira Tamaulipas de 1970 al año 2013 ocurrieron aproximadamente 72 inundaciones extraordinarias, 49 vendavales, 23 tempestades, 19 tormentas de consideración y 13 marejadas de oleaje destructivo, que sumadas históricamente dejaron 200 mil personas afectadas, de los cuales más de 150 mil tuvieron que ser evacuadas durante la emergencia, por ubicarse en zonas de riesgo. Es útil señalar que a

futuro cercano el promedio de retorno de estos fenómenos hidrometeorológicos es de 2.15 años (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 2018) por lo que es muy importante darle seguimiento a las zonas que reportaron el mayor índice de vulnerabilidad social y que además presentan factores de riesgo ante un escenario de inundación.

Para definir el IVS y el análisis geoestadístico, se revisaron diversas investigaciones (Cutter *et al.*, 2003; Schmidtlein *et al.*, 2008; Reckien, 2018) que contribuyeron al establecimiento de los indicadores. La procedencia de los datos sociodemográficos fueron retomados del Censo de Población y Vivienda 2010 emitido por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011a); los datos espaciales, tal como: área de los polígonos analizados se calcularon a partir de Marco Geoestadístico 2014 versión 6.2 de INEGI; las curvas de nivel que se emplearon para producir el modelo digital de elevación que dio pie al mapa de peligros, se construyeron mediante procesos propios de geomática con datos de entrada de Google Earth Pro. Con estas bases fue posible procesar el índice de vulnerabilidad social para los municipios de Ciudad Madero y Altamira. Para hacer más inteligible la explicación de tal índice, se



Figura 2. Localización del área de estudio. Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2009).

consideró la tipificación de vulnerabilidades socioambientales propuesta por Tovar y Vázquez (2017), particularmente se les dio seguimiento a los casos de la potamoweak o propensión a inundaciones.

Ahora bien, el análisis geoestadístico se refiere a un cociente de concentración que es una medida de la proporción que una variable determinada representada en un área dada comparada con la proporción de la misma variable a nivel general, los resultados indican el grado de concentración que tiene una demarcación en algún aspecto

considerado (Vázquez, 2013), por ejemplo, en este caso: densidad de población, tasa de nuevos vecinos, tasa de discapacitados, etcétera. Su expresión matemática conforme a (Vázquez, 2013) es:

$$Q_{ij} = \frac{V_{ij}}{\sum_i V_{ij}} \cdot \frac{\sum_j V_{ij}}{\sum_i \sum_j V_{ij}}$$

Dónde:

V_{ij} = Se refiere al valor V correspondiente al indicador “i” de la región de análisis “j”

$\sum_i V_{ij}$ = Se refiere al valor de V correspondiente al total local

$\sum_j V_{ij}$ = Se refiere al valor de V correspondiente al total de los indicadores

$\sum_i, \sum_j V_{ij}$ = Total de la región de análisis.

Su ordenamiento en una matriz se ejemplifica a partir de un cuadro de contraste entre sectores contra regiones, en este caso, los sectores (S) se refieren a las variables sociodemográficas, y las regiones (R) se refieren a las unidades geográficas de estudio, en este caso, tales unidades se corresponden con las Áreas Geoestadísticas Básicas de los municipios bajo estudio, su representación visual puede apreciarse en la tabla 2. En ese caso didáctico, los sectores de mayor sig-

nificación para la muestra total territorial serían: en primer lugar, S1 para la región 2 (R2), seguido de S3 para R1, y S4/R3, y así sucesivamente. La representación cartográfica de los resultados se realizó en gvSIG 2.4.

La representación espacial de los resultados estadísticos (tabla 3) se exhibe mediante mapas de coropletas del índice de vulnerabilidad social descrito, en casos específicos es necesario aplicar alguna correlación geográfica para ponderar los resultados y obtener las zonas prioritarias, es decir, zonas que tanto estadística como geográfica-

Tabla 2. Ejemplo de una matriz para calcular el cociente de acumulación.

Datos de entrada				
S/R	R1	R2	R3	\sum_j
S1	20	100	80	200
S2	25	75	150	250
S3	10	20	50	80
S4	45	95	330	470
\sum_i	100	290	610	1000

Valores Relativos				
SEC/REC	R1	R2	R3	\sum_j
S1	0.2	0.34	0.13	0.2
S2	0.25	0.26	0.25	0.25
S3	0.1	0.07	0.08	0.08
S4	0.45	0.33	0.54	0.47
\sum_i	1.00	1.00	1.00	1.00

Cálculo de valores Qij				
SEC/REC	R1	R2	R3	
S1	1	1.7	0.65	
S2	1	1.04	1	
S3	1.25	0.88	1	
S4	0.96	0.7	1.15	

Fuente: Elaboración propia con base en Vázquez, 2013.

Tabla 3. Representación estadística del cociente de acumulación del índice para vulnerabilidad social de algunas AGEB de Tamaulipas (casos acotados).

AGEB	Hab/Ha	Tasa_vejez	>15/Hab	Tasa PEI	Nvos Vecinos	P3yM_HLI	Tasa_V_Refri	Tasa_v_autom	IVS
076A	0.85	2.49	1.11	2.51	1.36	1.34	0.95	0.94	21.25
1,344	1.94	0.60	0.85	0.70	0.65	1.10	0.41	0.73	16.76
1,819	1.45	0.44	0.66	0.33	0.54	2.05	0.45	0.73	19.87
2,501	-	-	-	-	-	-	-	-	-
990	1.08	1.22	0.82	0.94	0.55	2.45	0.45	0.86	20.05
2,249	0.89	0.32	0.74	0.19	0.53	-	1.09	0.90	24.17
2,516	0.80	0.64	1.23	1.40	1.18	1.24	1.23	1.07	16.50
1,005	1.56	1.13	0.72	1.62	0.58	2.65	0.52	0.77	19.72
101A	1.07	2.50	0.60	1.77	0.76	4.74	0.80	0.90	22.82
933	1.05	3.12	0.80	2.71	1.12	1.15	0.99	1.06	20.30

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2015.

mente se encuentran en la antesala de algún desastre detonado por algún fenómeno geodinámico, como una inundación, por ejemplo. En todos los mapas se empleó la

cromática Color Brewer 2.0 sugerida por Dodge *et al.* (2011) para la mejor visualización cartográfica.

Resultados y discusión

Estimar el nivel medio del mar es complicado ya que los mareógrafos registran variaciones considerables debido a que algunas áreas de tierra se elevan y otras se asientan, por lo que los cambios del nivel del mar todavía no son concluyentes. Sin embargo, en estudios recientes se ha observado que luego del *Dryas Reciente*, el nivel del mar registro un ascenso a una tasa de cuatro metros por siglo Webster *et al.* (2004), en términos antropológicos dicha tasa es de 0.5 mm/año para el final del epipaleolítico y de 0.2 mm/año para los últimos tres milenios Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2001). Actualmente,

en Ámsterdam el ascenso se estima en 1.5 mm/año. Por lo que, a fin de siglo, se espera que el aumento del nivel del mar no sea uniforme en las distintas regiones del mundo, es decir, su impacto será muy variable de región a región.

Las evaluaciones del IPCC (2007: 323) consideran un ascenso del nivel del mar de entre 19 a 58 cm hacia 2100; otros cálculos proyectan un ascenso de 0.9 a 1.3 metros para el mismo periodo (Grinsted *et al.*, 2004). Sin embargo, no se pueden descartar las variaciones regionales provocadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos, por tal razón, algunos científicos

han elaborado modelos de costas impactadas hasta las cotas actuales de diez y cinco msnm, como Cruz (2016: 115), quien a partir de un índice de vulnerabilidad costera ubica al municipio de Tampico como uno de los dos más vulnerables de todo el

estado de Tamaulipas, cabe mencionar la unión territorial de este con Ciudad Madero. Bajo estas consideraciones, se presentan escenarios para la cota cinco metros de anegación del municipio de Ciudad Madero y Altamira.

Ciudad Madero a cinco metros bajo las aguas del mar

A comienzo del siglo XXI el gobierno mexicano impulsó una iniciativa federal en materia de cambio climático, de modo que es de comprender que los estudios e investigaciones a nivel local aún escasean, existen algunas excepciones, como lo realizado en 2010 por la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM y la Universidad Autónoma de Campeche, para mostrar las tendencias y dinámicas del comportamiento del nivel del mar, gracias a eso se sabe que el nivel del mar de Ciudad Madero, en promedio, subió su nivel 15 cm de 1964 a 1979, y aunque posteriormente esa tasa se ha incrementado, se asume que en dicho puerto el nivel asciende 9.2 cm por década (Zavala *et al.*, 2011: 325). Partiendo de esas premisas se indagarán los escenarios económicos y sociales para Ciudad Madero en caso de que el nivel del mar subiera en cinco metros su nivel.

Luego de aprovechar un método de fotogrametría satelital para obtener las curvas de nivel¹ que sirvieron para ubicar y delimitar las zonas del territorio del municipio

de Ciudad Madero que quedarían bajo el agua de mar, en caso de que éste subiera cinco m su nivel en las próximas décadas, se llegó a los resultados siguientes: de los 45.2 km² con los que cuenta el municipio de Ciudad Madero (INEGI, 2009), 17.1 km² quedan por debajo de la cota de cinco msnm, lo que representa el 37.86 % del total municipal. Tomando en cuenta únicamente el área urbana total del municipio (aproximadamente 4 000 ha.), 41.33 % de su infraestructura urbana queda por debajo de la cota de cinco msnm.

La mayor parte de esas 1 650 hectáreas urbanizadas², que desde ya están en riesgo de inundación en el municipio de Ciudad Madero, Tamaulipas (figura 3), corresponden al centro y sureste de la mancha urbana, así como a sus manzanas circundantes, de las cuales se indagaron los principales impactos económicos y sociales que se podrían derivar a consecuencia de una subida del nivel del mar de cinco metros durante algún hidrometeoro extremo inducido por la incertidumbre del cambio climático.

¹ Con una equidistancia de 50 m se construyó, una malla de un km², en formato shape, la cual se exportó como curva a formato KML para su tratamiento en Google Earth y en 3D-Route Builder y así tabular las coordenadas "x, y, z". Con ayuda de TCX-Converter la tabla se exportó a formato CSV para poder generar una interpolación desde Quikgrid. Las isolíneas resultantes se exportaron a DXF para su tratamiento cartográfico en GvSIS. Todo el proceso se iteró más de 20 veces.

² Cognitivamente eso equivale 800 canchas de soccer.

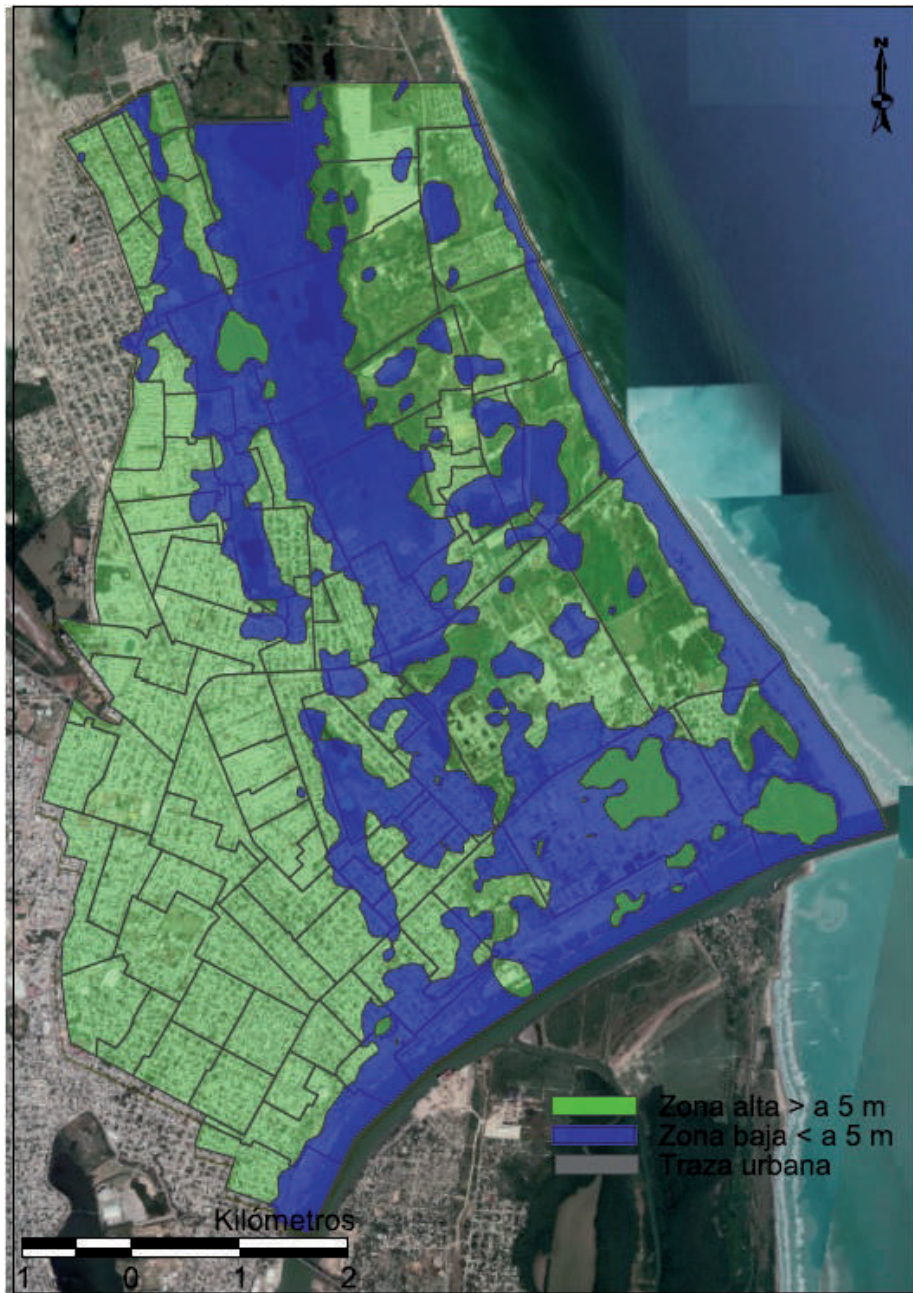


Figura 3. Principales zonas bajas del municipio de Ciudad Madero.
Fuente: Cálculos de los autores con base en datos proporcionados por Google Earth -SIO, NOAA, US Navy, NGA y GEBCO.

Ciudad Madero. Impactos económicos ante el escenario de incremento del mar

Una de las afectaciones principales del cambio climático en las zonas costeras de México se relaciona con el incremento del nivel del mar, la cual, económicamente, se puede estimar a partir de la cuantificación del Producto Interno Bruto (PIB) municipal o por la estimación del valor de los servicios ambientales que aportan ciertos ecosistemas. En ese sentido, en este apartado, se reflexiona en torno a las cifras económicas del municipio de Ciudad Madero. Conforme a González y Gallegos (2014), la distribución porcentual del PIB del año 2010, de los municipios de Tamaulipas, por región es el siguiente: Región del Altiplano 0.9 %; Valle de San Fernando 1.4 %; Mante 4.4 %; Centro 12.3 %; Región Sur 29.3 % y Región Fronteriza 51.7 %. Al respecto, si se considera el PIB estatal³ que arroja INEGI (2012), la Región Sur, a la que pertenece el municipio de Ciudad Madero, generó en total \$ 113 239 millones de pesos, de los cuales 36 462 millones los generó el municipio bajo estudio.

Cabe destacar que desde el punto de vista histórico dicha riqueza municipal, en función de la población económicamente activa, corresponde al sector de los servicios, principalmente del comercio al menudeo, así como del sector secundario con una participación porcentual del 58.1 % y 37.6 % respectivamente (INEGI, 1995), cuyo personal ocupado, para el año de 2010, se estima en poco más de 44 300 empleados dedicados a las actividades comerciales y de servicios, y otros 28 600 relacionados con las

actividades manufactureras (INEGI, 2011a). Sobre el sector primario, cabe recordar que en Ciudad Madero la agricultura y la pesca artesanal emplea menos de 3 000 trabajadores, por lo que el PIB municipal depende de alrededor de 76 000 trabajadores, de los cuales cerca de 50 000 laboran dentro de las zonas de peligro por inundación.

Otro impacto económico, en el escenario de riesgo bajo análisis, es la capacidad instalada, que como activo tiene un valor para la administración territorial del municipio de Ciudad Madero. Por ejemplo, la red que integra su sistema carretero, conformado principalmente por avenidas, bulevares y calles, según INEGI (2010a), tiene aproximadamente 610 kilómetros lineales, de los cuales 156.85 de ellos quedarían anegados (25.8 %) si el nivel del mar sube a cinco metros. Ahora bien, si se considera el costo promedio (25 dólares) que cuesta un metro cuadrado de asfalto, así como el ancho promedio de las calles (ocho metros) en riesgo de inundación, tenemos que los 1 254 761 m² resultantes, representan un valor de \$ 611.7 millones de pesos, si a esto se le suma el valor del resto de infraestructura pública (alumbrado, aceras, drenaje, agua potable, etcétera), la cifra supera los 2 447.0 millones de pesos (equivalente al 6.7 % del PIB municipal de 2010).

Por otra parte, el valor de los predios urbanizados (2 088.64 ha) en riesgo de inundarse con una crecida del mar de cinco metros, cotizado en precios del mercado corriente⁴ es de \$ 83.35 mil millones de

³De acuerdo con INEGI (2012), el estado de Tamaulipas produjo en 2010: \$386 482.2 millones de pesos.

⁴Tomando como base \$400 000 pesos por 100 m², sin contar el valor de las edificaciones.

pesos (unos cuatro mil millones de dólares), esa cifra equivale a 2.58 veces el PIB del municipio de Ciudad Madero del año 2010. Considerando el valor de los bienes raíces, tomando como base \$100 000 pesos por cada 60 m³ de construcción, es decir, predios no mayores a 100 m² y de una sola planta, habría que agregar 16 mil millones de pesos, es decir, 44.2 % del PIB municipal.

En resumen, para dimensionar la anegación por debajo de cinco metros de la infraestructura de Ciudad Madero, este problema semejaría a un impacto económico equivalente al 26.5 % del PIB del estado de

Tamaulipas, sin contar el valor de los bienes muebles entre otras afectaciones⁵. En otros términos, el impacto de los efectos del cambio climático sobre el municipio de Ciudad Madero equivale al saldo de la deuda bruta nacional (interna) del sector público del año de 1988, la cual la CEFP (2012) estima en 112 058.4 millones de pesos. Ahora bien, además de los 50 000 trabajadores afectados directamente por el escenario de cambio climático expuesto, es pertinente describir los impactos sociales que los efectos de una crecida del nivel de mar de cinco metros dejarían sobre el municipio de Ciudad Madero.

Ciudad Madero. Impactos sociales ante el escenario de incremento del mar

Es la demanda de vivienda de interés social la que experimentará los mayores cambios debido a los impactos por fenómenos hidrometeorológicos extremos detonados por el cambio climático. Por ejemplo, adicionalmente a las 4 504 solicitudes de vivienda nueva que en promedio año con año se le solicitan al municipio de Ciudad Madero (INFONAVIT, 2014), se tendrían que sumar otras 26 223 correspondientes a todas aquellas viviendas de dicha demarcación que por diferentes circunstancias (invasión de predios, venta ilegal de terrenos, urbanización irregular, especulación inmobiliaria, subsidencia de terrenos, erosión de la línea de costa, desvío de causas, desecación

de esteros, entre otras causas) se asentaron por debajo de la cota de cinco msnm, es decir, los impactos secundarios del cambio climático incrementarían un 582.2 % las necesidades de vivienda de Ciudad Madero para la reubicación de la población de la zona cero.

Ahora bien, en términos de vulnerabilidad, en una primera instancia se podría suponer que este riesgo medioambiental no distingue la condición social de la población que tendrá que emigrar de su lugar de vivienda, empero, es preciso señalar que el centro y sur del municipio prácticamente configuran la zona más riesgosa respecto a una crecida de río o *potamoweack* (Tovar y

⁵Como un caso análogo, tómesese en cuenta que, en 2005, los daños materiales causados por el huracán Katrina sobre Nuevo Orleans ascendieron a 108 mil millones de dólares, cifra equivalente al 12.89 % del PIB de México en 2010; o bien las pérdidas económicas que generó el huracán Wilma sobre Cancún ascendieron a 1,752 millones de dólares, 0.21 % del PIB nacional de 2010.

Vázquez, 2017), en particular las viviendas ubicadas en las colonias: Hidalgo Oriente, Benito Juárez, Emiliano Zapata, El Llano, Ampliación Unidad Nacional, Candelario Garza (INEGI, 2010a).

Sin embargo, con un breve índice de vulnerabilidad social se pudo refinar aún más dicha apreciación del grado de exposición a fenómenos hidrometeorológicos de las Áreas Geostadísticas Básicas (AGEB) en situación de riesgo de inundación del municipio de Ciudad Madero. En ese sentido, se puede advertir que de las 40 AGEB en *potamoweack*, se resalta que la colonia Las Flores (al norte del municipio) presenta el rvs más alto; le sigue tanto el oriente de la colonia El Chipus, como el noreste de la colonia Las Joyas.

El siguiente peldaño lo ocupa la colonia Fundadores (el más noroeste de los fraccionamientos del oriente); de acuerdo con el rvs, al suroeste, las colonias Árbol Grande, Arboledas, así como las colonias La Barra y Miramar (al sureste), y las colonias Ignacio Zaragoza, Candelario Garza, la colonia Sahop, Integración Familiar, Encinos, Médanos y Miramapolis (en el centro del municipio) se encuentran en un nivel moderado de *potamoweack*; por último las

colonias Ferrocarrilera, Benito Juárez y Miguel Hidalgo Oriente (al sur), así como la Francisco Villa, la Fidel Velázquez y la Héroe de Nacozari (al centro) y las colonias El Recreativo e Independencia (al este) presentan el nivel más bajo conforme al índice expuesto, lo que las sitúa como las zonas menos vulnerables dentro de ese conjunto (figura 4).

Al respecto, conforme a los recorridos que se realizaron en trabajo de campo se puede advertir que las consecuencias del cambio climático revelan que, en ciertos sectores urbanos, principalmente del norte y centro del municipio de Ciudad Madero, la desigualdad social potencializa los problemas derivados del cambio climático.

Además, es necesario enfatizar que, ante este escenario, la falta de sinergia local ha limitado la planificación urbana adecuada para afrontar y adaptarse a los fenómenos hidrometeorológicos extremos bajo contexto de cambio climático. La población convive con el peligro, pese a que involucren su vida y patrimonio. La responsabilidad es compartida tanto de gobierno como de la población misma que vive bajo riesgo (figura 5).

Altamira a cinco metros bajo las aguas del mar

Bajo el escenario supuesto, el municipio de Altamira puede presentar los siguientes resultados: de los 1 611 km² con los que cuenta el municipio de Altamira INEGI (2009) 227.9 km² quedan por debajo de la cota de cinco msnm, lo que representa el 14.1 % del total municipal. Tomando en cuenta únicamente el área urbana total del municipio (aproximadamente 5 550

ha., distribuidas en tres manchas urbanas: Cuauhtémoc, Altamira y Miramar), 3.45 % de su infraestructura urbana queda por debajo de la cota de cinco msnm.

Prácticamente la totalidad de esas 191.65 hectáreas urbanizadas⁶, potencialmente en riesgo de inundación en el municipio de Altamira, Tamaulipas (Figura 6a), se ubican en las localidades urbanas de Altamira

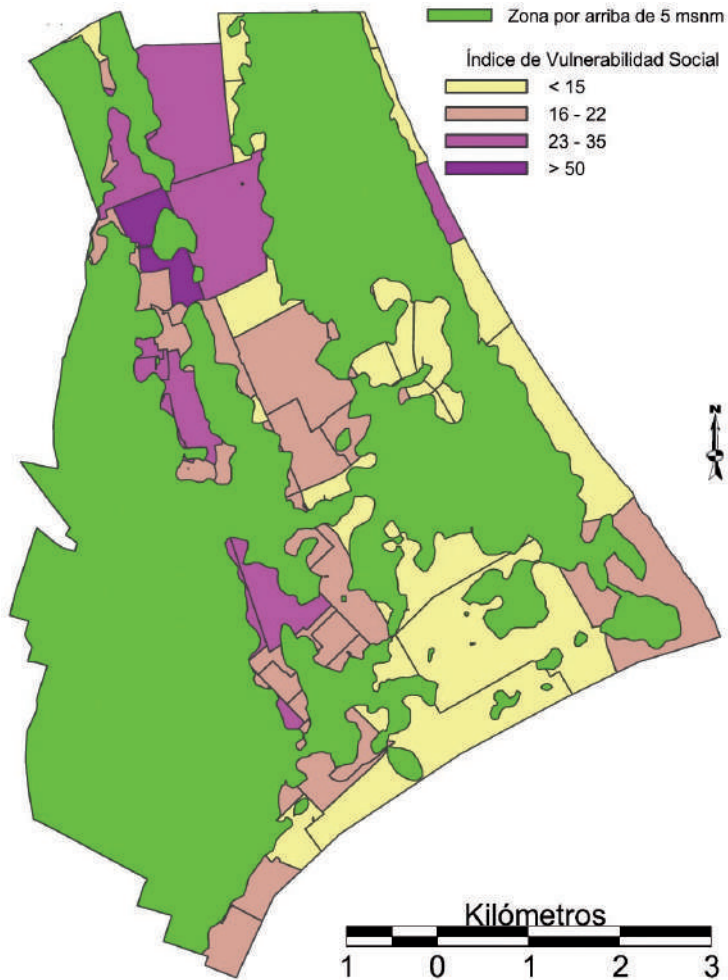


Figura 4. Índice de Vulnerabilidad Social de las zonas por debajo de los cinco msnm de Ciudad Madero, Tamaulipas. Fuente: Elaboración propia con base en (INEGI, 2011a).

y Miramar, sobre todo las circundantes a las riveras de la Laguna de Champayán y Lagunas de Miralta, respectivamente, de las

cuales se describen los impactos socioculturales y económicos de mayor consideración.

⁶Cognitivamente eso equivale 385 canchas de soccer.



Figura 5. Zonas bajas de la zona cero de Madero: a) colonia Las Flores; b) Arroyo Chipus; c) colonia Las Flores; d) colonia Chipus, Tamaulipas, México, 21 de junio de 2018. Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, temporada 2017-2018.

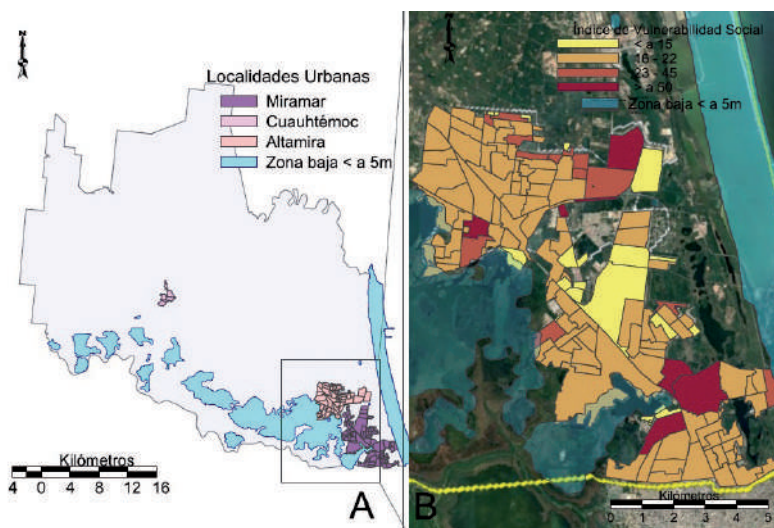


Figura 6. a) Principales zonas bajas del municipio de Altamira. b) Índice de Vulnerabilidad Social de las zonas por debajo de los cinco msnm. de Altamira. Fuente: Elaboración propia con base en (INEGI, 2011a).

Altamira. Impactos económicos ante el escenario de incremento del mar

De acuerdo con el PIB estatal⁷ calculado por INEGI (2012), la Región Sur, a la que pertenece el municipio de Altamira, generó en total \$113 068 millones de pesos, de los cuales, según González y Gallegos (2014), 17 776 millones los generó el municipio de Altamira. En términos históricos, dicha riqueza municipal, en función de la población económicamente activa ocupada, ha corrido a cargo del sector de los servicios y del sector industrial, con una participación porcentual de 73.9 % y 24.4 % respectivamente (Periódico Oficial, 2017) cuyo personal ocupado, para el año de 2010, era de los 68 500 empleados dedicados a las actividades comerciales, de servicios e industriales y sólo 1 200 relacionados con las actividades primarias, por lo que el PIB municipal depende de alrededor de 70 000 trabajadores, de los cuales 10 227 laboran dentro o cerca de las zonas de peligro por inundación.

La red que integra el sistema carretero de Altamira, según INEGI (2010b), tiene aproximadamente 833 kilómetros lineales, de los cuales 34 de ellos quedarían anegados (4.1 %) si el nivel del mar sube de nivel en cinco metros. De modo que con los mismos parámetros usados para Madero (costo de 25 dólares por metro cuadrado de asfalto y ancho promedio de las calles de ocho metros), se tiene que alrededor de 272 207.5 m², representan un valor de \$132.7 millones de pesos, de considerar la infraestructura pública (alumbrado, aceras,

drenaje, agua potable, etcétera), la cifra, por lo menos, llega a los 663.5 millones de pesos (equivalente al 3.7 % del PIB municipal de 2010).

Por otra parte, el valor de los predios urbanizados (191.6 ha), en riesgo de inundarse cinco metros debido a algún hidrometeoro, cotizado en precios del mercado corriente⁸ es de \$ 7.6 mil millones de pesos (unos 380 millones de dólares), esa cifra equivale al 43% del PIB del municipio de Altamira del año 2010. Considerando el valor de los bienes raíces, tomando como base \$100 000 pesos por cada 60 m³ de construcción, es decir, predios no mayores a 100 m² y de una sola planta, habría que agregar otros 1 689 millones de pesos, 9.5% del PIB municipal.

En resumen, la anegación por debajo de cinco metros de la infraestructura de Altamira, podría impactar al 2.6 % del PIB del estado de Tamaulipas. En otros términos, el impacto de los efectos del cambio climático sobre el municipio de Altamira equivale al saldo de la deuda bruta nacional externa del sector público del año de 1984, la cual la CEFP (2012) estima en 10 639.2 millones de pesos. Ahora bien, además de los 10 227 trabajadores afectados directamente por el escenario de cambio climático expuesto, es pertinente ampliarse y describir los impactos sociales que los efectos de una crecida del nivel de mar de cinco m dejarían sobre este municipio.

⁷ De acuerdo con INEGI (2012), el estado de Tamaulipas produjo en 2010: \$386 482.2 millones de pesos.

⁸ Tomando como base \$400 000 pesos por 100 m², sin contar el valor de las edificaciones.

Altamira. Impactos sociales ante el escenario de incremento del mar

Al igual que Madero, la demanda de vivienda de interés social es la que experimentará los mayores cambios debido a los impactos por fenómenos hidrometeorológicos extremos detonados por el cambio climático. Por ejemplo, adicionalmente a las 7 770 solicitudes de vivienda que en promedio requiere el municipio de Altamira (INFONAVIT, 2014), se tendrían que sumar otras 11 273 correspondientes a todas aquellas viviendas que se sitúan por debajo o muy próximas a la cota de cinco msnm, es decir, los impactos secundarios del cambio climático incrementarían un 145.08 % las necesidades de vivienda de Altamira para la reubicación de la población de la zona cero.

Por otra parte, de acuerdo con la Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas del INAH (2018), de los 18 sitios arqueológicos con que cuenta el municipio de Altamira, nueve de ellos, distribuidos a lo largo del gran sistema lagunar, se sitúan justo sobre los cinco msnm, aunque es preciso recalcar que algunas áreas de ocupación arqueológica se extienden por algunos asentamientos modernos como el fraccionamiento Lagunas de Miralta.

Por otra parte, es útil señalar que las riberas norte tanto de Miralta como la de Laguna de Champayán, prácticamente concentran las zonas más riesgosas, en particular las viviendas pertenecientes al fraccionamiento Lagunas de Miralta (figura 6b), sin embargo, esta demarcación vecinal tiene un rvs moderado, por lo que una crecida de río no afectaría severamente a las 150 viviendas que reporta el INEGI (2011b).

Son otras AGEB en riesgo de inundación (figura 6b), de las cuales se resalta que el

Fraccionamiento Real Campestre (al sur de la localidad de Miramar) presenta el rvs más alto; le sigue en alto grado de vulnerabilidad social tanto el poniente del sector norte de Lomas de Altamira (en Miramar), como los terrenos del oriente de la planta química BASF Mexicana (en Altamira), el tercer puesto lo ocupan, además del citado fraccionamiento Lagunas de Miralta, el poniente de Lomas de Altamira, así como la colonia la Pedrera (todos ellos pertenecientes a Miramar), mientras que del lado de Altamira, son muchas colonias las que integran un nivel moderado de índice de vulnerabilidad social, tal como: el sector poniente de la colonia Jardines de Altamira, el sector norte de colonia Infonavit, la Fidel Velázquez, el Residencial Campanario, la colonia Santa Anita, Las Grullas, Los Sábalos, la colonia Almendros, Los Naranjos y la colonia Pescadores.

Por último, de acuerdo con el rvs expuesto, el extremo sur de la colonia Potosina (en Altamira) como el fraccionamiento Náutico (en Miramar) presentan el nivel más bajo, lo que las sitúa como las zonas menos vulnerables dentro de ese conjunto (Figura 4b). Al respecto, conforme a los recorridos que se realizaron en trabajo de campo se puede advertir que las consecuencias del cambio climático revelan que, en ciertos sectores urbanos, puntualmente en el oeste y suroeste del municipio de Altamira, los índices de vulnerabilidad social son de moderados a altos, además de estar conjugados con las zonas más bajas y de mayor exposición a fenómenos hidrometeorológicos extremos en la ciudad.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

El tema del aumento del nivel de mar en zonas costeras es prioritario bajo los argumentos científicos que cada vez son más enfáticos en relación a este tipo de impactos producto del cambio climático. Los planes de ordenamiento territorial, las normas de construcción, las alertas tempranas, los refugios para la atención de la población, los centros de salud, las brigadas de rescate, el fomento de la cultura para tomar acciones en caso de inundación, son algunos de los aspectos que deben estar actualizados y activos ante una situación de riesgo de inundación. Los primeros focos de atención son las colonias y sectores más vulnerables para evitar que este tipo de situaciones no se salgan de control ante una emergencia.

Sin restar importancia, es urgente iniciar campañas de reubicación de las zonas de máximo peligro y elevados niveles de vulnerabilidad, al tiempo de declarar zonas de veto urbano por motivo de peligro de inundación, para ello es crucial que los mapas de los atlas de riesgo y vulnerabilidad emitidos por el gobierno de Tamaulipas cambien su escala de análisis, que pasen de las escalas exploratorias a las escalas urbano-arquitectónicas, que pasen de mapas a escalas de cinco dígitos a mapas con escalas de cuatro y tres dígitos para tener un mejor empadronamiento de los problemas urbanos asociados al cambio climático, en concreto con las crecidas del nivel del mar.

Conclusiones

Desde el diagnóstico geoespacial expuesto, el incremento del nivel mar en la llanura costera del noreste de México, incrementa el riesgo debido a su relación con eventos hidrometeorológicos extremos, sobre todo entre las áreas urbanas con los índices de vulnerabilidad más desfavorables. Dichas afectaciones objetivamente se cuantificaron con la intención de generar conciencia y estimular su atención en los tomadores de decisiones para la formulación, planeación y diseño de políticas públicas encaminadas a prevenir y controlar los asentamientos humanos en áreas sensibles y susceptibles ante eventos hidrometeorológicos extremos. En ese sentido, considerando el escenario de un incremento del nivel del mar de cinco metros en los municipios de Madero y Al-

tamira, se estima que el 38 % y 14 % respectivamente, quedarían bajo situación de riesgo por inundación.

En consecuencia, la economía del estado se vería afectada, disminuyendo en 76.1 % de participación en el PIB estatal, afectando a más de 65 mil trabajadores que laboran dentro de las zonas de peligro por inundación. Como resultado de los impactos sociales, se resalta que son 56 762 las viviendas que se encuentran en riesgo de inundación en caso de que el nivel del mar o algún otro hidrometeoro eleve el nivel del mar en cinco metros.

Como se puede apreciar el reto de la planificación urbana bajo el contexto de cambio climático es enorme, puesto que, como se ha evidenciado, la identificación

de trabajadores en riesgo y la cantidad de viviendas ubicadas dentro de las respectivas zonas cero sumados se acercan a los 110 mil casos. Por lo que la atención de la vulnerabilidad costera debe considerarse como

un tema de prioridad estatal dentro de los próximos gobiernos, antes de que el periodo de retorno traiga hidrometeoros con potenciales impactos y tome por sorpresa a los habitantes de estos municipios costeros.

Literatura citada

- Alvarado, E., O. Rodríguez, y O. Iturralde, 2016. Niveles de cobertura y accesibilidad de la infraestructura de los servicios de agua potable y de salud en Nuevo León, México. *CONTEXTO. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma*, 10(12): 49-61.
- Batres, J., 2012. Crecimiento Urbano e industrial, consecuencias ambientales en las lagunas urbanas y periurbanas en Tampico-Madero-Altamira del Sur de Tamaulipas (México). Análisis 1823-2010. Tesis de doctorado en Planificación Territorial y Desarrollo Regional, Universidad de Barcelona, Facultad de Geografía, Física e Historia. .
- CEFP, 2012. Indicadores y Estadísticas (Ingresos y Deuda): Costo Financiero de la Deuda Bruta del Sector Público Presupuestario, 1980-2012. México: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas.
- Collins, K.J., A.N. Exton-Smith, y C. Doré, 1981. Urban hypothermia: preferred temperature and thermal perception in old age. *Br Med J (Clin Res Ed)*, 282(6259): 175-177.
- Cruz, C., 2016. Evaluación de la Vulnerabilidad en las costas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Facultad de Ingeniería. México. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., y W.L. Shirley, 2003. Social Vulnerability to Environmental. *Social Science Quarterly*, 84(2): 242-261.
- Dodge, M., R. Kitchin, y C. Perkins, 2011. *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Escobar, A., 2004. Desastres agrícolas en México : catálogo histórico. Tomo II, Siglo XIX (1822-1900). México: Fondo de Cultura Económica.
- García, R., 2008. Riesgo de inundación por marea de tormenta en el municipio de cd. Madero, Tamaulipas. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller". Tampico: Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Gaspari, F. J., A.M. Rodríguez, M.I. Delgado, G.E. Senisterra, y G.A. Denegri, 2011. Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. *Multequina*, 20(1): 03-13.
- González, A., y G. Gallegos, 2014. El producto interno bruto de los municipios de México: II. Estados MZ. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8): 1405-1421.
- Grinsted, A., J. Moore, y S. Jevrejeva, 2004. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 ad. *Climate Dynamics*, 34(4): 461-472.
- Gutiérrez, A., 2012. Qué es la movilidad?. Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Bitácora*, 21(2): 61-74.
- Gutiérrez, J., y J. García, 2005. Cambios en la movilidad en el área metropolitana de Madrid: el creciente uso del transporte privado/Changes in the mobility in the Madrid metropolitan area. The increasing use of the private transport. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 25: 331-351.
- INAH, 2018. Catálogo de sitios arqueológicos Altamira. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- INEGI, 1995. Cuaderno Estadístico Municipal. Ciudad Madero, estado de Tamaulipas. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos,

- Altamira, Tamaulipas. Aguascalientes, México, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI, 2010a. Cartografía geoestadística urbana, Cierre del Censo de Población y Vivienda 2010. Ciudad Madero. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI, 2010b. Cartografía geoestadística urbana, Cierre del Censo de Población y Vivienda 2010. Altamira. Aguascalientes, Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI, 2011a. Resultados definitivos: Censo de población y vivienda 2010. Aguascalientes, Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI, 2011b. Cartografía geoestadística urbana, Cierre del Censo de Población y Vivienda 2010. Altamira. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- INEGI, 2012. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por entidad federativa 2006-2010, Año base 2003. Segunda versión. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INFONAVIT, 2014. Demanda Potencial. (4° bimestre del 2014). México, México, México: Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. Climate Change 2001: the scientific basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jiménez, S., 2007. Los riesgos de inundación en la conurbación de Tampico-Madero-Altamira. *CienciaUAT*, 1(3): 48.
- López., 1961. Ante-proyecto preliminar encaminado a resolver el problema de inundaciones en Tampico y Ciudad Madero. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- López, M. D., G.J. Fernández, M. Bojanich, y M. Alonso, 2005. Infección por *Toxocara canis* en población infantil vulnerable de la ciudad de Corrientes (Argentina). *Anales de Pediatría*, 58(5): 425-431.
- Lusett, M., y M. Bartorila, 2017. Aportaciones de la forestación a la sostenibilidad urbana en ciudades tropicales. Humedal Nuevo Amanecer, Ciudad Madero, México. *Nova Scientia*, 9(19): 529-550.
- Nguyen, L.D., K. Raabe, y U. Grote, 2015. Rural-urban migration, household vulnerability, and welfare in Vietnam. *World Development*, (71): 79-93.
- Pérez, A., y M.A. Ortiz, 2002. Cambio de la cubierta vegetal y vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. *Investigaciones geográficas*, (48): 90-105.
- Periódico Oficial, 2017. Plan Municipal de Desarrollo 2016-2018, del municipio de Altamira, Tamaulipas. Victoria: Secretaría General de Gobierno De Tamaulipas.
- Reckien, D., 2018. What is in an index? Construction method, data metric, and weighting scheme determine the outcome of composite social vulnerability indices in New York City. *Regional Environmental Change*, 1-13 doi:10.1007/s10113-017-1273-7
- Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. 2018. DesInventar. Obtenido de Sistema de Inventario de Desastres. Versión: 10.02.009. Cali: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina: <https://www.desin>
- Rengifo, H., 2008. Conceptualización de la salud ambiental: teoría y práctica (parte 1). *Revista Peruana de Medicina Experimental y salud pública*, 25(4): 403-409.
- Rojas, M., 2004. La vulnerabilidad y el riesgo de la vivienda para la salud humana desde una perspectiva holística. *Cuaderno Urbano*(4): 145-174.
- Rojas, M. D., N.C. Meichtry, M.B. Ciuffolini, y J.C. Vázquez, 2008. Repensando de manera holística el riesgo de la vivienda urbana precaria para la salud: un análisis desde el enfoque de la vulnerabilidad sociodemográfica. *Salud Colectiva*, 4:187-201.
- Saideman, S. M., 1997. Explaining the international relations of secessionist conflicts: Vulnerability versus ethnic ties. *International Organization*, 51(4): 721-753.

- Schmidtlein, M.C., R.C. Deutsch, W.W. Piegorsch, y S.L. Cutter, 2008. A Sensitivity Analysis of the Social Vulnerability Index. *Risk Analysis*, 28(4): 1099-1114.
- Segura, E.L., y A. Escobar, 2005. Epidemiología de la enfermedad de Chagas en el estado de Veracruz. *Salud pública de México*, 47(3): 201-208.
- Tovar, R., y S. Vázquez, 2017. Análisis geoestadístico de las muertes por neoplasia en la población de 55 y más años en los municipios del Estado de Veracruz. *Universalud*, 13(25): 49-58.
- Vázquez, S., 2013. Análisis de la salud y calidad de vida en adultos mayores en dos zonas climáticas de Veracruz. Xalapa: Universidad Veracruzana, Instituto de Salud Pública.
- Webster, J., D. Clague, K. Riker-Coleman, C. Gallup, J. Braga, y D. Cameron, 2004. Drowning of the -150 m reef off Hawaii: A casualty of global meltwater pulse 1A? *Geology*, 32(3): 249-252.
- Zavala, J., R. De Buen, y R. Romero, 2011. Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. En A. Botella, S. Villanueva, & J. & Gutiérrez, Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático (Vol. I, págs. 315-333). México, Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Playas recreativas de México: vulnerabilidad y gestión

*J. A. Arreola Lizárraga, G. García Morales,
C. Esmeralda León López y A. Ortega Rubio*

Resumen

Las playas son reconocidas como sistemas socio-ecológicos con importancia en todos los ámbitos: ecológico, ambiental, social y económico. Esta contribución examina la vulnerabilidad y los procesos de gestión en las playas recreativas de México. La vulnerabilidad a la contaminación bacteriana exhibió que previo a periodos vacacionales, la mayoría de las playas recreativas tienen calidad sanitaria apta para baño; sin embargo, se requiere mayor esfuerzo en la inspección sanitaria, control de fuentes de contaminación y el monitoreo de enterococos en el agua de las playas. La vulnerabilidad a la contaminación por microplásticos de las playas es un problema que requiere mayor investigación para conocer su estado y tendencia. La vulnerabilidad ante el cambio climático en los destinos turísticos más importantes del país exhibe

un incremento del nivel medio del mar y tasas de erosión mayores en playas del golfo de México y mar Caribe; la inundación por marea de tormentas y por inundaciones fluviales son altas en la mayoría de los destinos turísticos; además, un problema emergente es el arribo masivo de sargazo en playas del Caribe, por lo que programas de adaptación requieren ser implementados y evaluados. En México, la norma de calidad y sustentabilidad de playas, la certificación internacional “Blue Flag”, el Programa Playas Limpias y los Comités de Playas Limpias constituyen la gobernanza para la gestión de playas recreativas. Actualmente, 36 playas están certificadas por la normatividad mexicana y 54 playas por “Blue Flag” y representan alrededor del 31 % de las playas incluidas en el Programa Playas Limpias. La vulnerabilidad y la gestión de playas recreativas son asuntos claves para su uso sostenible, pero representan un desafío por lo que un mayor esfuerzo en el funcionamiento efectivo de los comités de playas limpias es necesario.

Palabras clave: playas recreativas, vulnerabilidad, calidad sanitaria, certificación.

Introducción

Una playa de arena es una agregación no consolidada de granos de diferente tamaño y naturaleza mineralógica (principalmente cuarzo), controlada por sus regímenes de arena, oleaje y marea (Zaitsev, 2012). Las playas varían desde estrechas y empinadas (reflectivas) hasta anchas y planas (disipativas); la mayoría de las playas son intermedias entre estos extremos (Schlacher *et al.*, 2008).

En las playas de arena ocurren procesos físicos, químicos y biológicos complejos que sostienen funciones ecológicas importantes, tales como proporcionar sitios para protección, anidación, alimentación y reproducción de distintas especies marinas, incluyendo tortugas y aves marinas amenazadas o en peligro de extinción (Cornelius, 1995; Maslo *et al.*, 2018); también ofrecen servicios ecosistémicos a la sociedad tales como recreación, amortiguamiento de efectos de tormentas, reciclaje nutrientes, explotación de arena o minerales y además se han convertido en nodos para el desarro-

llo económico y el uso cultural (Nel *et al.*, 2014). En suma, las playas son reconocidas como sistemas socio-ecológicos con importancia en todos los ámbitos: ecológico, ambiental, social y económico (McLachlan y Defeo, 2018).

Las playas como socio-ecosistemas son vulnerables a presiones por factores naturales y humanos. Esto incluye los efectos asociados al cambio climático: incremento del nivel medio del mar, erosión costera, oleaje de tormenta, eventos extremos de lluvia e incremento de la temperatura superficial del mar; así como la contaminación de diversas fuentes: microbiana, basura y microplásticos; además de la urbanización, son todos aspectos que requieren atención para plantear estrategias de manejo con el fin de mantener los valiosos servicios ecosistémicos de las playas.

En México, la mayor parte de los 11 122 km de litoral corresponden a litoral arenoso. Específicamente, en el frente costero de las cinco regiones marinas del país, el por-

centaje de la extensión de litoral arenoso con respecto al litoral rocoso muestra que en el Pacífico Norte es 67:33; Golfo de California 70:30; Pacífico Sur 77:23; Golfo de México 96:3; Mar Caribe 92:8 (Ortiz-Pérez y De La Lanza-Espino, 2006). Este litoral arenoso está representado por playas que son diversas por sus características geomorfológicas, así como por la influencia de diferentes climas y procesos costeros con regímenes distintos de lluvias, oleaje, vientos y mareas; de tal forma que se encuentran desde playas semi-protegidas con olas de bolsillo, hasta vastas playas rectilíneas que reciben el embate del oleaje de mar abierto; la composición de las arenas de las playas está influenciada por la geología regional, el clima y el relieve de las llanuras costeras (Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 2018).

Considerando el servicio de recreación, la cantidad y diversidad de playas de arena representa un capital natural importante para el turismo que se refleja en 18 destinos turísticos sustentados en sus playas. Desde 1929, el turismo ha sido considerado como una de las principales actividades económicas de México, junto con la producción de petróleo y las exportaciones (Retama *et al.*, 2019). La contribución actual del turismo al PIB nacional es del ~ 9 % y México ocupa el quinto lugar mundial como destino turístico, en 2018 arribaron 41.4 millones de turistas internacionales y generaron ingresos por 20 413 millones de dólares (PROSECTUR, 2018). Actualmente, los destinos de inversión más populares incluyen la Ciudad de México, Riviera Maya, Los Cabos, Cancún, Puerto Vallarta y Riviera Nayarit (Parish-Flannery, 2018); destacando que excepto la ciudad de México, los otros son destinos turísticos con playas.

La importancia de las playas de arena como sitios turísticos y por ende de su mayor atención se formalizó a partir del 2003 con el Programa Playas Limpias (PROPLAYAS) implementado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2017), y se fortaleció con la norma de sustentabilidad de calidad de playas emitida en 2006 y actualizada en 2016 (DOF, 2016). El propósito del PROPLAYAS es promover el saneamiento de las playas y realizar acciones orientadas a proteger la salud de los usuarios, mejorar la calidad ambiental e incrementar los niveles de competitividad de los destinos turísticos con playas. En el PROPLAYAS participan la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Salud (SS), la Secretaría de Marina (SEMAR), la Secretaría de Turismo (SECTUR), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), gobiernos estatales y municipales, así como diversas organizaciones de la sociedad civil.

Este capítulo tiene el objetivo de examinar las playas recreativas de México incluidas en el PROPLAYAS, mediante el análisis de su vulnerabilidad al servicio de recreación por contaminación bacteriana, contaminación por micro-plásticos y cambio climático, así como los esfuerzos en procesos de gestión y certificación promovidos por Comités de Playas Limpias (CONAGUA, 2005), través de la norma de calidad y sustentabilidad de playas (DOF, 2016), y la certificación internacional “Blue Flag” (BLUE FLAG-FEE, 2018).

Principales playas recreativas de México

El Programa Playas Limpias incluye 270 playas, localizadas en 68 destinos turísticos en los 17 estados costeros de México. Con base en las regiones marinas, 10 playas se ubican en el Pacífico Norte, 89 en el golfo

de California, 84 en el Pacífico Sur, 41 en el golfo de México y 46 en el Caribe (figura 1). En las tablas de los Anexos se presentan las playas recreativas asociadas a cada una de las regiones marinas del país.

Vulnerabilidad de las playas recreativas

La contaminación bacteriana y por microplásticos, así como los efectos del cambio climático afectan las funciones ecológicas y servicios ecosistémicos de las playas. A continuación se expone la vulnerabilidad de las playas recreativas ante estos procesos.

Ante la contaminación bacteriana

El servicio más representativo de las playas a la sociedad es la recreación y por esta razón es importante mantener el agua y la arena en buenas condiciones sanitarias.

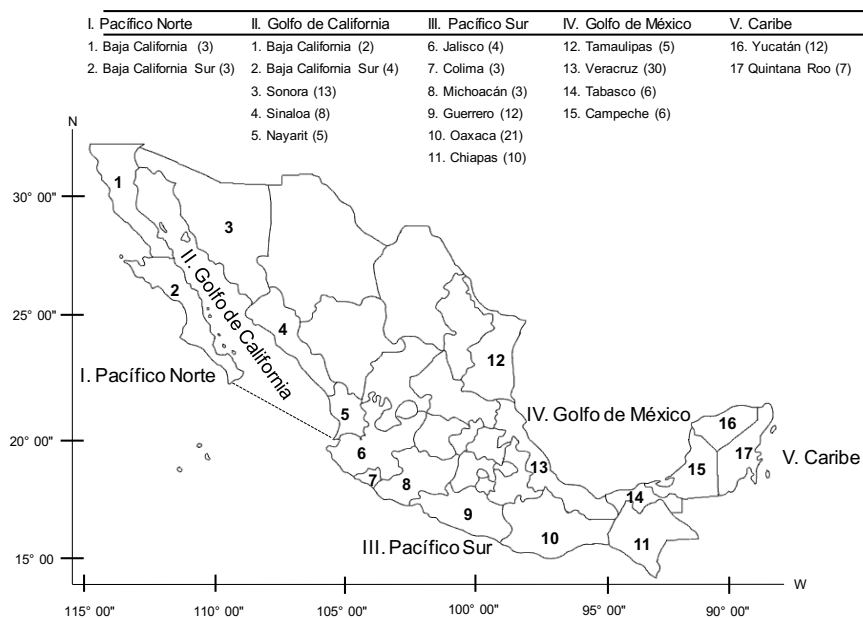


Figura 1. Número de playas incluidas en el Programa de Playas Limpias, indicando su ubicación por región marina y entidad federativa.

Prevenir la contaminación de las playas es importante para evitar riesgos a la salud pública.

La calidad sanitaria del agua de la playa se evalúa mediante bacterias indicadoras de contaminación fecal, que incluyen coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y enterococos (Oliveira *et al.*, 2016). La contaminación fecal en las playas puede ser causada por descargas de aguas residuales, escorrentías de ríos, los propios bañistas (defecación y/o desprendimiento), fosas sépticas en las cercanías de playas, heces de animales, deposición de patógenos en el aire, tráfico marítimo, así como el transporte de bacterias fecales por lluvia, viento, mareas y corrientes (Praveena *et al.*, 2013; Tilburg *et al.*, 2015).

En particular, los enterococos son bacterias que toleran ambientes salinos y su concentración en el agua está asociada con la incidencia de enfermedades respiratorias o gastrointestinales, así como con infecciones oculares y auditivas en bañistas (Cabelli *et al.*, 1982; Pruss 1998; Haile *et al.*, 1999). Es por ello que la Organización Mundial de la Salud ha establecido el riesgo a salud pública con base en la concentración de en-

terococos en el agua de mar en las playas (tabla 1). La calidad sanitaria de la arena, el otro componente importante en el servicio de recreación de las playas, aún no se ha incluido en la normatividad, ni en los programas de monitoreo.

En México, inicialmente la norma de sustentabilidad de calidad de playas estableció el límite máximo de la concentración de enterococos fecales en el agua en 200 NMP/100 ml (DOF, 2006). Diez años después, la norma fue actualizada y el límite máximo de las concentraciones de enterococos en el agua de las playas se estableció en 100 NMP/100 ml (DOF, 2016).

Sobre esto, la Comisión Federal contra la Protección y Riesgos Sanitarios considera que es importante mantener una vigilancia de la calidad del agua de mar, que permita con un enfoque preventivo, alertar al usuario a tomar la decisión de ingresar o no a una playa, dependiendo de los niveles de enterococos y la temporalidad de estos niveles en cada una de las playas sujetas a vigilancia; en este sentido, es importante que se difundan los resultados de la evaluación de la calidad del agua de las playas, señalizando *in situ*, aquellos lugares que representen

Tabla 1. Criterios de calidad del agua para uso recreativo de contacto primario establecidos por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003).

Valores de enterococos en el percentil de 95 % (NMP /100 ml)	Riesgo estimado por exposición
0 - 40	< 1% riesgo enfermedades GI < 0.3 % riesgo enfermedades RFA
41 - 200	1- 5% riesgo enfermedades GI 0.3 -1.9 % riesgo enfermedades RFA
201 - 500	5 - 10% riesgo enfermedades GI 1.9 - 3.9% riesgo enfermedades RFA
> 500	> 10% riesgo enfermedades GI > 3.9% riesgo enfermedades RFA

Abreviaciones: NMP: Número Más Probable, RFA: Respiratorias Febriles Agudas, GI: Gastro-Intestinales

riesgos a la salud, así como la difusión de los resultados a través de medios masivos como el internet (COFEPRIS, 2015).

El PROPLAYAS inició en 2003 con el monitoreo de la calidad sanitaria del agua en 226 playas. Posteriormente, el número de playas monitoreadas se fue incrementando y desde 2013 se ha establecido en 270 playas. Los monitoreos de las playas se realizan previo a los periodos vacacionales de Semana Santa, verano e invierno. Con base en los resultados de las concentraciones de enterococos en agua durante el periodo 2003-2019, cada año más del 95 % de las playas han cumplido con el límite establecido por la normatividad mexicana (figura 2).

Las concentraciones de enterococos en el agua de las playas correspondientes a cada uno de los 17 estados costeros de la república mexicana, durante el periodo 2013-2015, mostraron que en 2014 algunas playas de Campeche, Colima y Guerrero superaron el límite máximo establecido de 200 NMP/100 ml por la norma vigente en ese periodo (figura 3). Para el periodo 2016-2019, con la norma actualizada que estableció el límite máximo permisible de

la concentración de enterococos en el agua en 100 NMP/100 ml, se observó un incremento del número de playas con valores de contaminación bacteriana superior al límite máximo permisible. Específicamente en Guerrero, Colima, Nayarit y Oaxaca se observaron con mayor frecuencia playas recreativas con problemas de contaminación fecal (figura 4).

Los resultados, a partir de muestreos puntuales, proporcionan una aproximación de la condición sanitaria del agua de las playas recreativas antes de los periodos vacacionales y con base en ello se informa a los potenciales turistas. Sin embargo, durante periodos vacacionales, existe evidencia de que una masiva afluencia de usuarios, eventos de lluvias o eventuales aportes de aguas residuales urbanas son factores que incrementan la concentración de enterococos en el agua de las playas con valores mayores a 500 NMP/100 ml que se mantienen durante e incluso después de los periodos vacacionales con implicaciones en mayor riesgo a la salud de los bañistas. Esto ha sido observado en algunas playas de diferentes regiones del país; por ejemplo, de 19 playas

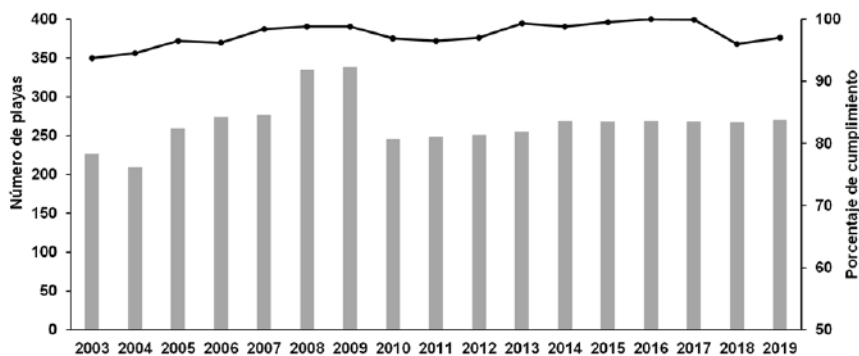


Figura 2. Número de playas (barras) monitoreadas por el Programa de Playas Limpias y porcentaje de playas (línea) que cumplen con la norma que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas.

Fuente: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=playas&ver=grafica&o=0&n=nacional>

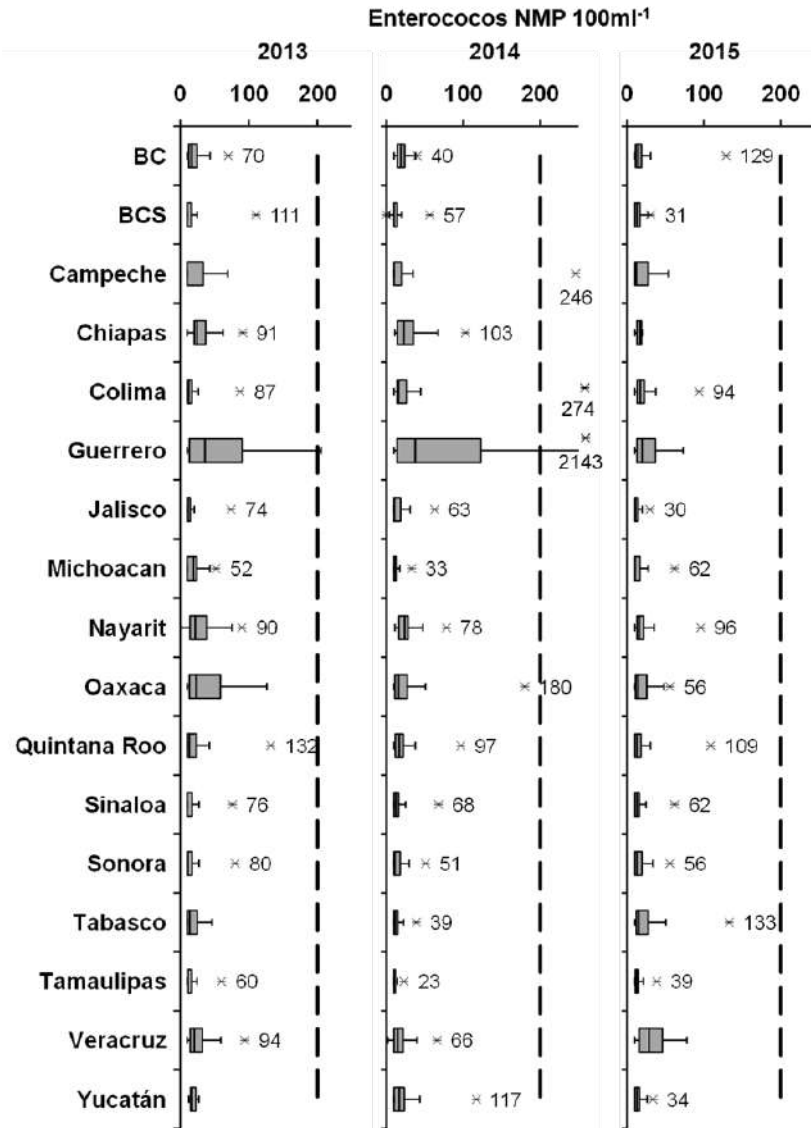


Figura 3. Concentraciones de enterococos en el agua de las playas recreativas de los 17 estados costeros de México durante el periodo 2013-2015. Asterisco indica valores extremos; línea punteada indica el límite máximo permisible establecido por la normatividad mexicana en 2006 (DOF, 2006). Fuente: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/gob-mx/playas/destinos/destinos.html>

del litoral Tijuana-Ensenada, el 25 % en verano y el 17 % en invierno, excedieron los criterios de calidad sanitaria establecidos en la normatividad (Orozco-Borbón *et al.*, 2006); en la playa Boquita, Colima, se observó que durante el periodo de máxi-

ma afluencia turística la concentración de enterococos en el agua rebasó los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad (Silva-Iñiguez *et al.*, 2007); en tres playas de Acapulco, Guerrero, las concentraciones de enterococos en el agua

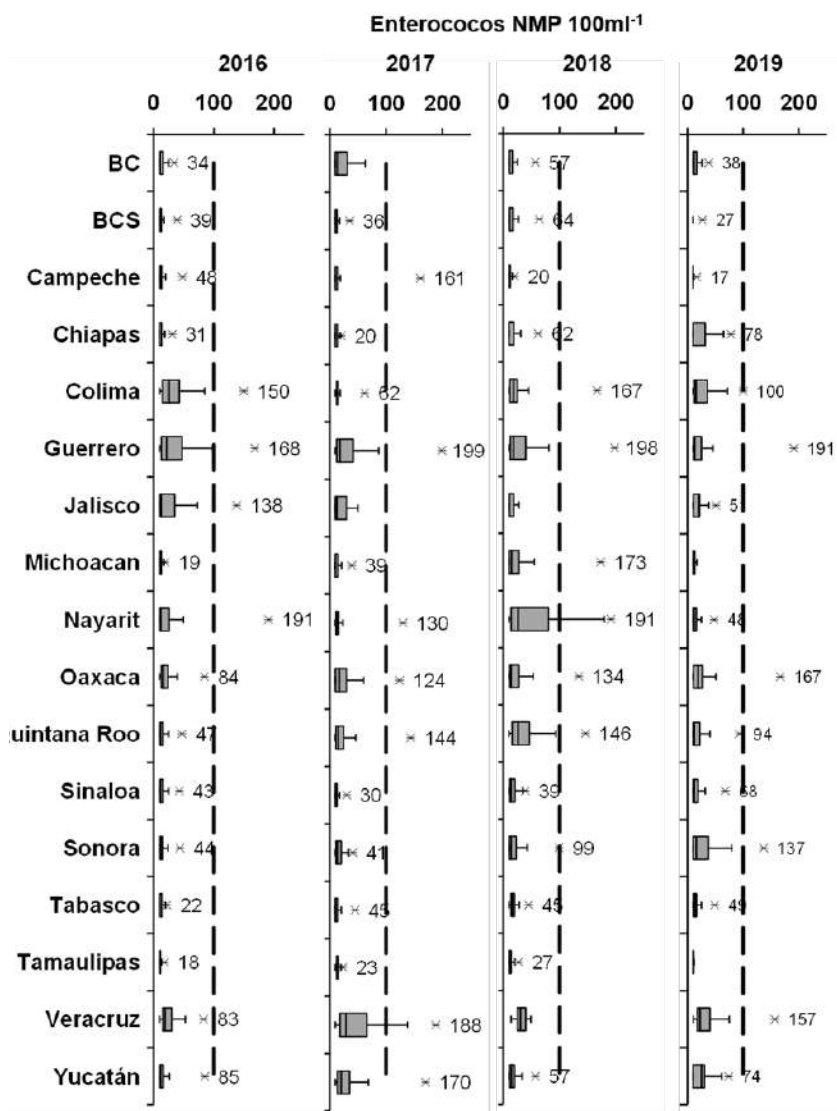


Figura 4. Concentraciones de enterococos en el agua de las playas recreativas de los 17 estados costeros de México durante el periodo 2016-2019. Línea punteada indica el límite máximo permisible establecido por la normatividad mexicana en 2016 (DOF, 2016). Fuente: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/gob-mx/playas/destinos/destinos.html>

indicaron riesgos sanitarios desde no recomendable hasta alto en agosto, durante temporada vacacional (Flores-Mejía *et al.*, 2012); en una playa urbana de Veracruz, Veracruz, las concentraciones de entero-

cocos en agua fueron superiores al límite establecido por la normatividad (Hidalgo *et al.*, 2016); en tres playas de Guaymas, Sonora, las concentraciones de enterococos en agua rebasaron el límite máximo permi-

sible por la normatividad en invierno, así como durante y después de Semana Santa (León-López *et al.*, 2018).

Con base en lo expuesto, para una playa determinada, se deben examinar todas las fuentes potenciales e implementar monitoreo a través del ciclo anual, así como realizar investigación científica para comprender mejor la variabilidad de las bacterias indicadoras fecales (León-López *et al.*, 2018), incluyendo la inspección sanitaria y con ello fortalecer la gestión de las playas.

La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003) considera que las tres fuentes de contaminación fecal humana más importantes en las aguas recreativas son: aguas residuales, descargas fluviales y bañistas. Por ello es necesaria la inspección sanitaria considerando los siguientes aspectos:

- Aguas residuales, desbordamiento de alcantarillado, descargas de aguas pluviales (presencia / ausencia, tipo de tratamiento, uso efectivo de la descarga).
- Descargas fluviales (presencia / ausencia, tipo de tratamiento, tamaño de población de donde se origina el río o arroyos, caudal del río en la temporada de baño).

- Bañistas (densidad de bañistas, dilución).

Otros aspectos a considerar son: lluvias (duración y magnitud), vientos (velocidad y dirección), mareas y corrientes (amplitud de marea, patrón estacional de corrientes) y fisiografía costera.

Con base en lo expuesto es posible clasificar una playa recreativa en función de su susceptibilidad a influencia fecal y de su calidad sanitaria (tabla 2).

Es importante considerar la dificultad de asociar las fuentes específicas de contaminación fecal con riesgos a la salud de los usuarios de las playas, esto debido a la naturaleza diversa de las fuentes de bacterias fecales, los procesos de su descarga y de su destino, así como escasas estimaciones en las cuencas hidrológicas donde se ubican las playas (Huang *et al.*, 2017). Esto representa un desafío en términos control de fuentes contaminación, monitoreo, investigación científica e inspección sanitaria. PROPLAYAS es un acierto de política de gobierno porque está orientado en este sentido y donde los comités de playas limpias pueden y deben tener un papel destacable para mantener las playas recreativas sin riesgos a la salud de los usuarios.

Tabla 2. Matriz de clasificación sanitaria con aplicación en playas recreativas (Fuente: WHO, 2003).

Categoría de inspección sanitaria	Categoría de evaluación de la calidad sanitaria del agua			
	A ≤40	B 41-200	C 201-500	D >500
Muy Bajo	Muy buena	Muy buena	Seguimiento ¹	Seguimiento ¹
Bajo	Muy buena	Buena	Justo	Seguimiento ¹
Moderado	Buena ²	Buena	Justo	Pobre
Alto	Buena ²	Justo ²	Pobre	Muy Pobre
Muy Alto	Seguimiento ²	Justo ²	Pobre	Muy Pobre

A,B,C y D: Categorías en función de la concentración de enterococos (NMP/100 ml) en el agua.

¹ implica indicadores fecales que no provienen de aguas residuales, y esto debe validarse.

² indica resultados inesperados que requieren mayor esfuerzo de investigación.

Ante contaminación por microplásticos

La calidad de las playas se puede afectar por distintas fuentes de contaminación. Una de ellas es la basura. Esto es un asunto clave en el manejo de playas recreativas (García-Morales *et al.*, 2018a), debido a que un criterio importante en la elección de un destino turístico es la limpieza de las playas; por ejemplo, 85 % de 1 000 usuarios indicaron que no visitarían una playa que contenga más de dos unidades de basura por metro cuadrado (Tudor y Williams, 2006). Además, un efecto negativo de contaminación por basura en las playas, es el riesgo a la salud pública, debido a que los residuos son un ambiente propicio para la proliferación de bacterias, que pueden ser inhaladas (se han detectado en partículas aéreas), o ingeridas a través de mariscos y sal marina (Rochman *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2015).

Se estima que 80 % de la basura acumulada en ambientes marinos está conformada por plásticos y sus derivados (Barnes *et al.*, 2009). Los plásticos se clasifican con base en su tamaño en macroplásticos (>20 mm de diámetro), mesoplástico (5-20 mm) y microplásticos (< 5mm) (Napper y Thompson, 2019). A su vez los microplásticos, se clasifican en primarios que corresponden a partículas que ingresan al ambiente en un tamaño < 5 mm de diámetro y secundarios que se forman en el ambiente mediante fragmentación de macro o mesoplástico (Andrady, 2011).

La toxicidad de los microplásticos depende principalmente del origen y el área en que se encuentran (Pannetier *et al.*, 2019) y pueden acumular sustancias tóxicas en su superficie, por lo que representan una fuente potencial de contaminación ambiental concentrada o pueden actuar como

un vector de contaminantes tóxicos en la red alimentaria con algunas consecuencias graves para la salud (Ogunola y Palanisami, 2016). Un riesgo mayor es cuando son transferidos a través de la trama trófica afectando así a una mayor cantidad de especies marinas (Farrell y Nelson, 2013). Las playas son ecosistemas vulnerables a la contaminación por microplásticos debido a su depositación en la línea costera por transporte de corrientes, mareas y vientos (Pinheiro *et al.*, 2019).

En México, en 21 playas arenosas ubicadas a lo largo del litoral de la península de Baja California (12 en el Pacífico y nueve en el golfo de California), la abundancia de microplásticos resultó dos veces mayor en las playas del océano Pacífico, en comparación con las del golfo de California, esto explicado por la mayor densidad de población costera, desechos y aguas residuales en la costa del Pacífico; en el conjunto de las playas estudiadas, la abundancia media de microplásticos fue de 135 ± 92 partículas kg^{-1} , la fibra comprendió el 91 % de los microplásticos identificados y se atribuye que las descargas de aguas residuales fueron la principal fuente de microplásticos en la mayoría de las playas, seguidas por el turismo, y los principales polímeros fueron poliacrílico, poliacrilamida, tereftalato de polietileno, poliésteres y nailon, el más común fue la poliacrilamida debido a su uso en la industria textil como agente de acabado en plásticos (Piñon-Colin *et al.*, 2018).

Estos resultados representan una aproximación al problema de contaminación por microplásticos. Un mayor esfuerzo de investigación es necesario para conocer su estado y tendencia en las playas recreativas del país.

Ante el cambio climático

Las playas arenosas proporcionan servicios ecosistémicos esenciales, incluidos la disipación del oleaje y el amortiguamiento contra eventos extremos (tormentas y tsunamis), respuestas dinámicas a la elevación del nivel medio del mar, oportunidades recreativas y suministro de alimentos. Estos servicios ecosistémicos son particularmente vulnerables al cambio climático. Schoeman *et al.* (2014) indican que la expectativa general ante el cambio climático es que las líneas costeras del mundo están proyectadas a experimentar cambios del nivel del mar; asimismo, aire y agua cálidos pueden incrementar la frecuencia e intensidad de vientos costeros. Además, señalan que la estrecha interface tierra-mar es muy sensible y sujeta a cambios ambientales por lo que sugieren la hipótesis de que el incremento del nivel medio del mar, aunado a mayor frecuencia de tormentas severas, acelerarán las tasas de erosión, reducirán amplitud de la playa, modificarán la línea de costa y producirán cambios en la morfodinámica de las playas arenosas.

Se ha señalado que las dunas y la playa no deben verse afectados por construcciones que interfieran la acción del viento, el cual se manifiesta en diferentes intensidades y direcciones a lo largo del año. Esto porque las dunas y la playa presentan una retroalimentación y cuando se interrumpe la comunicación entre ambos sistemas se producirá un estrechamiento de esta franja incrementando su vulnerabilidad (Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 2018).

Lo expuesto implica que las playas arenosas con un alto valor recreativo y que sustentan muchas economías costeras tienen riesgos. Por ejemplo, la disminución de la disponibilidad de la playa puede traducirse en una capacidad de carga social reducida,

una disminución en la calidad de la playa y en la infraestructura asociada, así como una disminución en la demanda de dichos servicios. Las consecuencias económicas del cambio climático en las playas arenosas como sistemas socioecológicos pueden manifestarse a través de cambios en el precio de los bienes y servicios, los costos y la renta económica, por lo que se extienden en cascada a lo largo de las economías locales, regionales y nacionales. Estos efectos podrían verse agravados por el uso social mal planificado de las playas (urbanización y recreación), la explotación inadecuada de recursos (v. gr. arena, recursos pesqueros) y otros impulsores del cambio global que actúan juntos, como la globalización del mercado y una gobernabilidad débil (McLachlan y Defeo, 2018).

Las playas recreativas de México, por su ubicación geográfica, son vulnerables a los efectos del cambio climático, particularmente porque la mayoría se encuentran dentro de la trayectoria de huracanes que generan lluvias intensas, mareas de tormenta, inundaciones, sobre elevación del nivel del mar y erosión costera con efectos adversos a la infraestructura y actividades productivas, incluyendo el turismo.

En México, ante el incremento del nivel medio del mar, las playas más vulnerables son aquellas con la pendiente más baja de la llanura costera y corresponden principalmente a playas ubicadas en el golfo de México y el Caribe (Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 2018).

En particular, en ANIDE (2018), se analizó la vulnerabilidad ante el cambio climático en diez destinos turísticos ubicados en diferentes regiones costeras del país: Acapulco, Cancún, Huatulco, Ixtapa Zihuatanejo, Los Cabos, Mazatlán, Nuevo Vallarta, Puerto Vallarta, Riviera Maya y

Veracruz-Boca del Río. El estudio aplicó un índice de vulnerabilidad costera integrado por variables geológicas (geomorfología, topografía de playa y tasa de erosión) y variables oceanográficas (elevación del nivel del mar, altura significativa del oleaje y amplitud de marea) y los resultados mostraron que los sitios de Veracruz, Cancún y la Riviera Maya son los más vulnerables por encontrarse en zonas bajas y planas, mientras que los menos vulnerables son Huatulco, Acapulco y Nuevo Vallarta por estar protegidos en bahías. Mazatlán y Los Cabos tienen vulnerabilidad alta por tener playas más expuestas al oleaje. Ixtapa y Puerto Vallarta tienen vulnerabilidad media debido a su exposición al oleaje, aunque se encuentran en una bahía.

Las mayores tasas de erosión promedio anual se observaron en Cancún (5.9 m año⁻¹), Riviera Maya (1.2 m año⁻¹) y Mazatlán (1.1 m año⁻¹) por ser zonas bajas y planas con mayor impacto del oleaje. Las menores tasas de erosión se observaron en Veracruz (0.3 m año⁻¹), Huatulco (0.4 m año⁻¹) y Acapulco (0.4 m año⁻¹) debido a la protección por bahías. El resto de los destinos registraron tasas de erosión de alrededor de 0.5 m/año. Procesos de acreción fueron observados en Nuevo Vallarta, Puerto Vallarta y Los Cabos (~ 2 m año⁻¹) debido al aporte de sedimentos por ríos. La vulnerabilidad ante inundación por marea de tormentas es muy alta en la mayoría de los destinos turísticos, excepto Veracruz y Acapulco. Cancún tiene mayor número de servicios afectados por marea de tormenta (1 200 establecimientos de servicio turístico) debido a que su desarrollo turístico se realizó sobre las zonas de playa, dunas costeras, zonas de manglar, sistemas lagunares de geomorfología plana en zonas bajas. Las inundaciones fluviales son muy altas en to-

dos los destinos turísticos.

La información sobre vulnerabilidad ante el cambio climático orientó la preparación de un Programa de Adaptación adecuado para cada destino turístico, las acciones se enfocan en reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia de los sistemas ambientales, sociales y productivos, particularmente el turístico, así como fortalecer las capacidades de adaptación de diferentes sectores de la sociedad y fomentar la cultura de la prevención. Específicamente, los programas de adaptación propuestos incluyen: (1) instrumentos normativos y de política pública de carácter municipal, (2) fortalecimiento de capacidades institucionales, (3) protección civil, (4) investigación científica y tecnológica, (5) fortalecimiento de capacidades sectoriales, (6) recursos naturales y protección al ambiente, (7) salud, (8) sistema de alerta temprana, (9) Infraestructura, (10) transporte y vialidades, (11) manejo de residuos y (12) educación para la prevención de riesgos (ANIDE, 2019).

Un tema emergente asociado al cambio climático en playas recreativas es el depósito excesivo de sargazo (macroalga parda, género: *Sargassum*) en playas del Caribe, esto ha tenido efectos adversos en todos los sentidos: ambientales, ecológicos, sociales y económicos. El arribo masivo sin precedentes de *Sargassum* a las islas del Caribe se observó en 2011, 2015 y 2018 (UNEP, 2018).

El sargazo se distribuye en el Atlántico Sur Tropical y en el Atlántico Norte, incluido el mar de los Sargazos, en un área de 2 millones de kilómetros cuadrados en las aguas cálidas del océano Atlántico, pero en los últimos años, ha habido varios episodios inusuales de cantidades excesivas de dos especies de *Sargassum*: *S. natans* y *S. fluitans* (Gower y King, 2011).

En las playas, el depósito excesivo de *Sargassum* afecta el turismo y la pesca de las comunidades costeras. En la región del Gran Caribe las naciones más afectadas por el arribo masivo de *Sargassum* son el sureste de México, las Antillas Menores, República Dominicana, Islas Turcas y Caicos, y Florida EUA; por ejemplo, en destinos turísticos de México, se registró una disminución del 35 % durante el primer semestre 2018 (UNEP, 2018).

Con base en el informe de la UNEP (2018), no es posible realizar un pronóstico a largo plazo de las proliferaciones de *Sargassum* sin entender qué causó su incremento masivo y las fluctuaciones anuales en años anteriores. Las posibles causas de la proliferación masiva de *Sargassum* requiere más investigación científica y para ello se han planteado las siguientes hipótesis de trabajo:

- Calentamiento y cambio de la temperatura del océano debido a los ciclos a largo plazo, como la Oscilación Meridional del Atlántico o AMO, y / o el cambio climático global.

- Cambios en la circulación oceánica.

Las siguientes causas son especulaciones, pero no está claro si juegan un papel importante y quizás incluso improbable:

- Aumento de nutrientes y contaminantes en tierra (que incluyen fertilizantes y aguas residuales con alto contenido de nitrógeno) que son vertidos al océano.
- Transferencia de nutrientes del polvo rico en hierro de ríos (Congo, Amazonas y noroeste de África).
- El tráfico marítimo como potencial vector de introducción.

Actualmente, están surgiendo numerosas iniciativas y planes de acción a nivel local y nacional, pero existe la necesidad de desarrollar un plan regional donde las experiencias, los conocimientos, las mejores prácticas y la tecnología puedan compartirse y ponerse en acción para minimizar los impactos. Como un ejemplo de atención y esfuerzo de este asunto en México, el lector puede revisar el sitio <https://www.conacyt.gob.mx/sargazo/>. Se necesitan asociaciones sólidas para proteger a los más vulnerables a esta amenaza emergente (UNEP, 2018).

Gestión

La gestión de playas es un proceso orientado a mantener sus funciones ecológicas y sus servicios ecosistémicos. La gobernanza establece el marco dentro del cual ocurre la gestión de playas recreativas y esta debe apoyarse en criterios científicos, tales como la capacidad de carga, aptitud recreativa (García-Morales *et al.*, 2018b) y calidad ambiental (Botero *et al.*, 2015).

Se reconoce que entre las funciones ecológicas de las playas destaca brindar hábitats para anidación de aves y desove

de tortugas marinas, y entre los servicios ecosistémicos destaca el servicio de recreación. En México, en concordancia con lo anterior, se estableció la norma de calidad y sustentabilidad de playas en 2006 y fue actualizada en 2016 que contiene los criterios para dos tipos de certificación: 1) prioritarias de conservación y 2) usos recreativos (DOF, 2016). Además, la certificación internacional “*Blue Flag*” para uso recreativo es también implementada en playas de México a través de Fundación para la Educación

Ambiental. Estos dos instrumentos de certificación, así como PROPLAYAS y los Comités de Playas Limpias (CPL) conforman la estructura de gobernanza en la que opera la gestión de playas en México.

La certificación de playas (CP) son procesos dirigidos a reconocer playas que mantienen excelentes condiciones sanitarias y ambientales, así como de servicios de calidad. Las CP tienen impactos positivos en los aspectos ambiental, social y económico; además, los destinos turísticos con playas certificadas resultan más atractivos. Por todo esto, el interés por los procesos de CP se ha incrementado.

La norma mexicana considera 52 indicadores en siete grupos de atributos: 1) Calidad bacteriológica del agua, 2) Residuos sólidos, 3) Infraestructura costera, 4) Biodiversidad, 5) Seguridad y servicios, 6) Educación ambiental y 7) Contaminación por ruido (DOF, 2016). Mientras que la certificación internacional “*Blue Flag*” considera 33 indicadores en cuatro grupos de atributos: 1) Información y educación ambiental, 2) Calidad del agua, 3) Gestión ambiental y 4) Seguridad y servicios (BLUE FLAG-FEE, 2018).

En México, la primera playa fue certificada en 2008 con base en los criterios de la norma NMX-AA-120-SCF-2006 y actualmente se han certificado 36 playas con un promedio de tres playas certificadas por año. La certificación “*Blue Flag*” se implementó en México a partir de 2012 y actualmente hay 54 playas con esta certificación con un promedio de siete playas certificadas por año (tabla 3).

Actualmente, con base en el número de playas certificadas con el distintivo “*Blue Flag*”, México ocupa el lugar 13 de 45 naciones incluidas en el programa.

El mayor número de playas certificadas ~ 75 % está asociada a los destinos turísticos de Los Cabos, la Riviera Maya, La Riviera Nayarita, Acapulco y Puerto Vallarta. De los 17 estados costeros no hay playas certificadas en Baja California, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán (tabla 3) y esto exhibe la necesidad de activar o fortalecer el trabajo de los Comités de Playas Limpias en los municipios con playas recreativas de estos estados.

En resumen, el ~ 31 % de las 270 playas incluidas en el PROPLAYAS han sido certificadas con alguno o ambos distintivos. Esto implica la necesidad de incrementar los esfuerzos de gestión de playas y fortalecer un mayor número de destinos turísticos en México.

Los Comités de Playas Limpias fueron diseñados para la promoción y apoyo de la gestión ambiental y certificación de playas. Su estructura es transversal y participativa (figura 5) y en 2005 se elaboró y entró en vigor un manual para su operación (CONAGUA, 2005).

Casos representativos de funcionamiento efectivo de los CPL corresponden a: 1) corredor La Paz-Los Cabos, B.C.S., 2) corredor Cancún-Riviera Maya, QRoo y 3) Puerto Vallarta-Riviera Nayarita.

El corredor La Paz-Los Cabos, B.C.S tiene 20 playas certificadas “*Blue Flag*” y tres playas han mantenido vigente su certificación por la normatividad mexicana y también dos de ellas cuentan con el distintivo playa limpia sustentable. Playa El Chileno, la primera certificada en el país (2008) con la norma mexicana y que desde entonces se ha mantenido vigente, Playa Palmilla certificada en 2012 y playa Santa María certificada en 2015. En el municipio de Los Cabos, el logro de numerosas certificaciones

Tabla 3. Playas Certificadas en México por la norma NMX-AA-120-SCFI-2016 y por el programa *Blue Flag*.

No.	Playa	Longitud (m)	Estado	Municipio	Blue Flag	Norma Mexicana	Año de primera certificación	Año de última certificación	Vigencia de certificación Blue Flag/ Norma Mx
1	Playa El Chileno ** +	274	B.C.S.	Los Cabos	X	X	2013/2008	2018/2019	1 año/ 2 años
2	Playa Palmilla ** +	692	B.C.S.	Los Cabos	X	X	2014/2012	2018/2019	1 año/ 2 años
3	Playa Santa María **	304	B.C.S.	Los Cabos	X	X	2015/2015	2018/2019	1 año/ 2 años
37	Playa El Coromuel **		B.C.S.	La Paz	X		2016	2018	1 año
38	Playa Acapulquito **		B.C.S.	Los Cabos	X		2017	2018	1 año
39	Playa El Corsario **		B.C.S.	Los Cabos	X		2017	2018	1 año
40	Playa Hacienda **		B.C.S.	Los Cabos	X		2017	2018	1 año
41	La Ribera **		B.C.S.	Los Cabos	X		2018	2018	1 año
42	Playa Las Viudas **		B.C.S.	Los Cabos	X		2017	2018	1 año
43	Médano Breathless **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
44	Médano Casa Dorada **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
45	Médano Club Cascadas de Baja **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
46	Médano ME Cabo **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
47	Médano Pueblo Bonito Cabos **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
48	Médano Pueblo Bonito Rose **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
49	Médano Riu Palace Los Cabos **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
50	Médano Riu Santa Fe **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
51	Médano Villa del Palmar**		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
52	Médano Villa El Arco **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
53	Médano Villa La Estancia **		B.C.S.	Los Cabos	X		2012	2018	1 año
20	Playa Audiencia **	395	Colima	Manzanillo		X	2015	2017	2 años
54	Playa El Revolcadero I **		Guerrero	Acapulco	X		2015	2018	1 año

* Playa prioritaria para la conservación
** Playa de uso recreativo
+ Distintivo playa limpia sustentable* Playa prioritaria para la conservación
** Playa de uso recreativo
+ Distintivo playa limpia sustentable

Tabla 3. Playas Certificadas en México por la norma NMX-AA-120-SCFI-2016 y por el programa *Blue Flag*.

No.	Playa	Longitud (m)	Estado	Municipio	Blue Flag	Norma Mexicana	Año de primera certificación	Año de última certificación	Vigencia de certificación Blue Flag/ Norma Mx
55	Playa El Revolcadero II **		Guerrero	Acapulco	X		2015	2018	1 año
56	Pie de la Cuesta **		Guerrero	Acapulco	X		2015	2018	1 año
57	Playa Icacos I **		Guerrero	Acapulco	X		2014	2018	1 año
58	Playa Icacos II **		Guerrero	Acapulco	X		2014	2018	1 año
59	Playa El Palmar I **		Guerrero	Zihuatanejo	X		2015	2018	1 año
60	Playa El Palmar II **		Guerrero	Zihuatanejo	X		2015	2018	1 año
22	Playa Garza Blanca **	531	Jalisco	Puerto Vallarta	X	X	2017/2013	2018	1 año/ 2 años
23	Playa Las Amapas-Conchas Chinas **	559	Jalisco	Puerto Vallarta	X	X	2017/2013	2018	1 año/ 2 años
24	Playa Palmares **	516	Jalisco	Puerto Vallarta	X	X	2015/2013	2018	1 año/ 2 años
25	Playa Camarones **	603	Jalisco	Puerto Vallarta	X	X	2015/2013	2018	1 año/ 2 años
17	Playa el Holi **	1,166	Jalisco	Puerto Vallarta		X	2014	2017	2 años
61	Playa de Oro **		Jalisco	Puerto Vallarta	X		2016	2018	1 año
62	Playa Sheraton **		Jalisco	Puerto Vallarta	X		2017	2018	1 año
4	Playa Nuevo Vallarta Sur ** +	523	Nayarit	Bahía de Banderas		X	2011	2017	2 años
5	Playa Nuevo Vallarta Norte ** +	536	Nayarit	Bahía de Banderas	X	X	2013/2011	2018/2017	1 año/ 2 años
6	Playa Bucerías ** +	537	Nayarit	Bahía de Banderas		X	2011	2019	2 años
8	Playa Los Muertos ** +	107	Nayarit	Bahía de Banderas		X	2011	2019	2 años
9	Playa Nuevo Vallarta Norte II ** +	536	Nayarit	Bahía de Banderas		X	2011	2019	2 años
16	Playa Hotel Grand Palladium Vallarta Resort & Spa / The Royal Suites Punta de Mita ** +	273	Nayarit	Bahía de Banderas		X	2011	2017	2 años
27	Playa Isla del Coral **	137	Nayarit	Compostela		X	2016	2018	2 años
28	Playa Guayabitos **	511	Nayarit	Compostela		X	2016	2018	2 años

* Playa prioritaria para la conservación
 ** Playa de uso recreativo
 + Distintivo playa limpia sustentable* Playa prioritaria para la conservación
 ** Playa de uso recreativo
 + Distintivo playa limpia sustentable

Tabla 3. Playas Certificadas en México por la norma NMX-AA-120-SCFI-2016 y por el programa *Blue Flag*.

No.	Playa	Longitud (m)	Estado	Municipio	Blue Flag	Norma Mexicana	Año de primera certificación	Año de última certificación	Vigencia de certificación Blue Flag/ Norma Mx
34	Playa Chacala **	688	Nayarit	Compostela		X	2011	2018	2 años
35	Playa Platanitos **	340	Nayarit	Compostela		X	2016	2018	2 años
10	Playa Chahué** +	428	Oaxaca	Huatulco	X	X	2013/2010	2018	1 año/ 2 años
18	Playa El Órgano* +	267	Oaxaca	Huatulco		X	2012	2017	2 años
21	Playa Bachoco**	478	Oaxaca	San pedro Mixtepec		X	2015	2017	2 años
29	Playa Zicatela** +	908	Oaxaca	Puerto Escondido		X	2016	2018	2 años
63	Tangolunda Dreams/ Barceló **		Oaxaca	Huatulco	X		2018	2018	1 año
3	Playa Aventuras DIF ** +	952	Quintana Roo	Tulum		X	2013	2018	2 años
7	Playa Grand Velas, All Suites & SPA Resort/ Riviera Maya ** +	500	Quintana Roo	Solidaridad		X	2010	2017	2 años
13	Playa las Perlas ** +	50	Quintana Roo	Benito Juárez	X	X	2014/2012	2018/2018	1 año/ 2 años
14	Playa Delfines ** +	314	Quintana Roo	Benito Juárez	X	X	2013/2013	2018/2017	1 año/ 2 años
31	Playa Cancún **	1,505	Quintana Roo	Benito Juárez		X	2018	2018	2 años
64	Playa Ballenas **		Quintana Roo	Benito Juárez	X		2015	2018	1 año
65	Playa Chac-Mool **		Quintana Roo	Benito Juárez	X		2014	2018	1 año
66	Playa Coral **		Quintana Roo	Benito Juárez	X		2015	2018	1 año
67	Playa Marlin **		Quintana Roo	Benito Juárez	X		2015	2018	1 año
68	Playa El Niño **		Quintana Roo	Benito Juárez	X		2015	2018	1 año
70	Bahía de Kantenh **		Quintana Roo	Solidaridad	X		2018	2018	1 año
71	Xcalacoco **		Quintana Roo	Solidaridad	X		2018	2018	1 año
72	Playa 88 **		Quintana Roo	Solidaridad	X		2017	2018	1 año
73	Punta Esmeralda **		Quintana Roo	Solidaridad	X		2018	2018	1 año

* Playa prioritaria para la conservación
** Playa de uso recreativo
+ Distintivo playa limpia sustentable* Playa prioritaria para la conservación
** Playa de uso recreativo
+ Distintivo playa limpia sustentable

Tabla 3. Playas Certificadas en México por la norma NMX-AA-120-SCFI-2016 y por el programa *Blue Flag*.

No.	Playa	Longitud (m)	Estado	Municipio	Blue Flag	Norma Mexicana	Año de primera certificación	Año de última certificación	Vigencia de certificación Blue Flag/ Norma Mx
11	Playa Santuario El Verde Camacho *	6,040	Sinaloa	Mazatlán	x		2011	2018	2 años
15	Playa Gaviotas ** +	567	Sinaloa	Mazatlán		x	2013	2018	2 años
26	Playa Isla las Animas (El Maviri) **	504	Sinaloa	Ahome		x	2016	2018	2 años
32	Playa Isla las Animas (El Maviri II) *	501	Sinaloa	Ahome		x	2018	2018	2 años
33	Playa Las Labradas *	488	Sinaloa	San Ignacio		x	2018	2018	2 años
36	Playa Las Glorias **	476	Sinaloa	Guasave		x	2018		2 años
30	Playa Sandy Beach ** +	1,520	Sonora	Puerto Peñasco		x	2017	2019	2 años
4	Playa Miramar ** +	1,551	Tamaulipas	Cd. Madero		x	2010	2017	2 años

* Playa prioritaria para la conservación
 ** Playa de uso recreativo
 + Distintivo playa limpia sustentable* Playa prioritaria para la conservación
 ** Playa de uso recreativo
 + Distintivo playa limpia sustentable

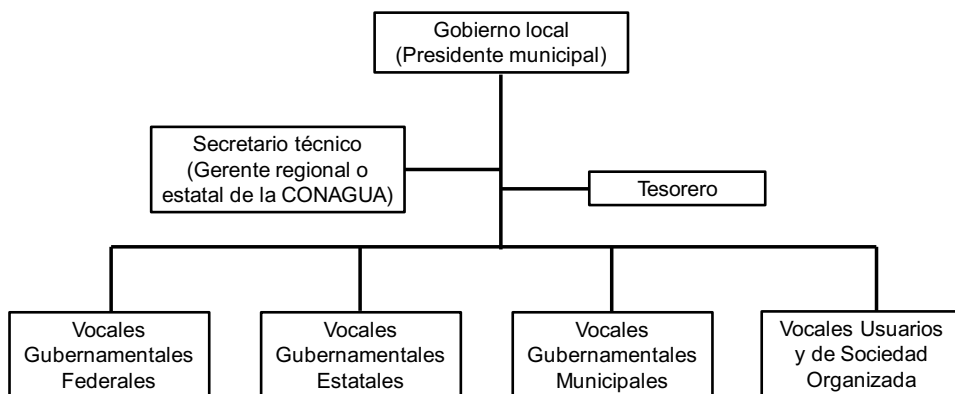


Figura 5. Estructura general de un Comité de Playas Limpias (Fuente: CONAGUA, 2005).

se atribuye a la coordinación municipal de la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) con los desarrolladores turísticos. La ZOFEMAT se encarga de la administración de las playas y esto favorece la gestión y aplicación del recurso federal, además de la participación del comité de vigilancia ambiental participativa de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

El corredor Cancún-Riviera Maya en el estado de Quintana Roo con 16 playas certificadas, 13 de ellas con “*Blue Flag*” y norma mexicana. Los CPL de los cinco municipios atribuyen su avance al cumplimiento de 177 de los 192 compromisos adquiridos para el periodo 2003-2012, así como a una estrecha coordinación entre todos los actores involucrados en el manejo de las playas. Esto se manifiesta con inversiones al alcantarillado sanitario, tratamiento de las aguas residuales con la operación de 21 plantas tratadoras, cumplimiento de los criterios de calidad del agua, mejoramiento en manejo de residuos mediante la conversión de dos tiraderos a cielo abierto en rellenos sanitarios y fomento a la investigación científica en recursos hídricos de las zonas adyacentes como acuíferos, arrecifes, así como la implementación del programa de monitoreo de la calidad de agua continental y marina.

El corredor Puerto Vallarta-Riviera Nayarita mediante la gestión del Comité Interestatal de Playas Limpias Jalisco-Nayarit incorpora municipios de ambos estados. La Riviera tiene playas con certificaciones nacionales y “*Blue Flag*”. La obtención de 17 certificaciones son producto de acciones en tratamiento de aguas residuales, realización de foros de educación ambiental ciudadana, manejo de basura, aplicación de recursos de la ZOFEMAT, programa de limpieza de playas establecida desde el 2014, así como estudios de diagnóstico de ríos que

desembocan en el mar con influencia en las playas.

Por las características de los procesos de gestión y certificación de playas, ninguno de los destinos turísticos mencionados ha estado exento de problemas, tales como discontinuidad por cambios de administraciones de gobierno, limitaciones de recursos para equipamiento, ejercicio de autoridad para normar actividades y zonificar espacios de uso de playa, limitaciones en difusión de derechos y obligaciones de usuarios. Sin embargo, los logros han superado los obstáculos y son actualmente los principales ejemplos del funcionamiento de los CPL.

En el marco de PROPLAYAS, la CONAGUA ha establecido una acción estratégica al implementar desde 2005 reuniones anuales denominadas “Encuentros Nacionales de Playas Limpias” con el propósito de intercambiar experiencias de éxito y fracaso entre los CPL, así como para proporcionar información acerca de inversiones y programas de trabajo que están implementándose en los destinos turísticos costeros del país. Estas reuniones son el espacio para la exposición de casos en los que algunos CPL han mostrado sus esfuerzos en el saneamiento de playas, pero insuficiencias en la gestión de inversiones para el tratamiento de aguas residuales y la red de drenaje en playas urbanas han limitado condiciones sanitarias para lograr certificaciones. Por ejemplo, playa La Roqueta (Guerrero), playa Rosarito (BC) y todas las playas de Veracruz fueron declaradas “playas con atención prioritaria” en 2003-2005 debido a los problemas de contaminación fecal.

Azuz *et al.* (2018) presentaron un análisis de la gobernanza a microescala para playas de México, donde la necesidad de marcos legales, integrales, adaptativos y participa-

tivos para la gestión de playas resultó evidente. En particular, los elementos de microescala a escala jurisdiccional (definición legal de playa y la zona marítima federal adyacente), institucional (reglas específicas, permisos temporales o estacionales) y de gestión resultaron inexistentes, elementales o muy pobres.

Así que en la gobernanza a microescala los CPL pueden y deben jugar un papel relevante.

A partir del desafío que implica incrementar esfuerzos de gestión y certificación en el ~ 70 % de las playas incluidas en PROPLAYAS que carecen de certificaciones u otras prácticas de manejo, entonces un

análisis del número de CPL establecidos y sobre todo su funcionamiento es requerido, enfocándose en algunos aspectos que resultan claves: coordinación entre actores de los tres niveles (federal, estatal y municipal), liderazgo administrativo y operativo, asignación y ejecución de presupuesto, conocimiento de los distintos actores sobre legislación y normatividad aplicable para enfocarse en la gestión de tratamiento de aguas residuales, programas de limpieza y manejo de residuos sólidos, programas de educación ambiental, derechos y obligaciones de los usuarios de las playas, así como monitoreo de la calidad sanitaria y ambiental de las playas.

Conclusiones

La vulnerabilidad a la contaminación bacteriana de las playas recreativas incluidas en PROPLAYAS está vigente. Los monitoreos realizados previo a periodos vacacionales en las playas recreativas indican que > 90 % de las playas tienen calidad sanitaria apta para baño. Sin embargo, la inspección sanitaria, control de fuentes de contaminación y el monitoreo de enterococos en el agua de las playas requiere mayor esfuerzo.

La vulnerabilidad a la contaminación por microplásticos de las playas recreativas está vigente. Una aproximación a la magnitud del problema es la evidencia observada por Piñon-Colin *et al.* (2018) en las playas de la península de Baja California, donde la mayor densidad de población costera, desechos y aguas residuales en la costa del Pacífico se asoció con la mayor cantidad de microplásticos. Así que un mayor esfuerzo de investigación es necesario para conocer el estado y tendencia de la contaminación

por microplásticos en las playas recreativas del país.

La vulnerabilidad ante el cambio climático por efecto del incremento de nivel medio del mar es mayor en las playas del golfo de México y mar Caribe. Existe evidencia aportada por ANIDE (2018) que la vulnerabilidad en diez destinos turísticos (Acapulco, Cancún, Huatulco, Ixtapa Zihuatanejo, Los Cabos, Mazatlán, Nuevo Vallarta, Puerto Vallarta, Riviera Maya y Veracruz-Boca del Río) estimada a partir de variables geológicas y oceanográficas es mayor en Veracruz, Cancún y la Riviera Maya; las mayores tasas de erosión se observaron en Cancún, Riviera Maya y Mazatlán; la vulnerabilidad ante inundación por marea de tormentas es muy alta en la mayoría de los destinos turísticos y las inundaciones fluviales son muy altas en los diez destinos turísticos. Está información propició la propuesta de un Programa de Adaptación

adecuado para cada destino turístico orientado a minimizar la vulnerabilidad que requieren ser implementados y evaluados. En años recientes, el arribo masivo de sargazo en playas del Caribe es un tema emergente que ha tenido efectos adversos en todos los sentidos: ambientales, ecológicos, sociales y económicos. Esto ha propiciado la necesidad inmediata de acciones de gestión para atender el problema y de investigación para entender las causas y fortalecer la gestión.

En México, la norma de calidad y sustentabilidad de playas (DOF, 2016), la certificación internacional “*Blue Flag*” (BLUE FLAG-FEE, 2018), el Programa Playas Limpias (CONAGUA, 2017) y los Comités de Playas

Limpias (CONAGUA, 2005), conforman la estructura de gobernanza en la que opera la gestión de playas recreativas. Actualmente, en el país hay 36 playas certificadas por la normatividad mexicana y 54 playas por “*Blue Flag*”, algunas playas tienen ambas certificaciones y en conjunto representan el ~ 31 % de las playas incluidas en PROPLAYAS. La vulnerabilidad y la gestión de playas recreativas son asuntos claves para su uso sostenible, pero representan un desafío porque los problemas son complejos y exigen la adopción de enfoques multidisciplinarios. En este sentido, es necesario un mayor esfuerzo en el funcionamiento efectivo de todos los comités de playas limpias.

Agradecimientos

Gustavo Padilla elaboró el mapa de México indicando las playas recreativas. Claudia E. León-López es becaria del CONACYT (#434868). Este estudio recibió apoyo

económico de la Red Áreas Naturales Protegidas de Redes Temáticas de CONACYT y del Proyecto 251919 de Ciencia Básica de CONACYT.

Literatura citada

- Andrady A. L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8): 1596-1605.
- ANIDE, 2019. Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos. Informe técnico del Proyecto del Fondo Sectorial CONACYT-SECTUR (Clave: 165452) elaborado por Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C., Cd. de México, 138 p.
- Azuz-Adeath, I., N. P. Muñoz-Sevilla, E. Rivera-Arriaga, L. Silva-Íñiguez., O. Arizpe-Covarrubias, O.D. Cervantes Rosas, G. García-Morales, J.A. Arreola-Lizárraga, A. Ortega-Rubio, L. Martínez-Ríos, y A. Cortés-Ruiz. 2018. Microscale governance and temporal regulations in beach Management. p. 659-678. In: C.M. Botero, O.D. Cervantes y Ch. W. Finkl (Eds.). *Beach Management Tools: Concepts, Methodologies and Case Studies*. Coastal Research Library 24, Springer, Berlin.
- Barnes D.K., F. Galgani, R.C. Thompson y M. Barlaz, 2009. Accumulation and fragmentation of

- plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B364: 1985-1998.
- Botero, C., C. Pereira, M. Tosic, y G. Manjarrez, 2015. Design of an index for monitoring the environmental quality of tourist beaches from a holistic approach. *Ocean & Coastal Management*, 108: 65-73.
- Cabelli, V.J., A.P. Dufour, L.J. McCabe, y M.A. Levin, 1982. Swimming-associated gastroenteritis and water quality. *American Journal of Epidemiology*, 115(4): 606-616.
- Carranza-Edwards, A., y L. Rosales-Hoz, 2018. Mexican Beach Sands: Composition and Vulnerability. p. 273-292. In: C.M. Botero, O.D. Cervantes y Ch. W. Finkl (Eds.). *Beach Management Tools: Concepts, Methodologies and Case Studies*. Coastal Research Library 24, Springer, Berlin.
- COFEPRIS, 2015. Manual operativo: vigilancia de agua de contacto primario en playas y cuerpos de agua dulce. Secretaría de Salud, Comisión Federal contra la Protección y Riesgos Sanitarios, Cd. de México, 26 p.
- CONAGUA, 2005. Manual de Organización y Operación de los Comités de Playas Limpias de México. Comisión Nacional del Agua, Cd. de México, 10 p.
- CONAGUA, 2017. Programa Playas Limpias, Agua y Ambiente Seguros. Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-playas-limpias-agua-y-ambiente-seguros-proplayas>.
- Cornelius, S.E., 1995. Status of sea turtles along the Pacific coast of Middle America. p. 211-219. In: K. A. Bjorndal (Ed.). *Biology and conservation of sea turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- BLUE FLAG-FEE, 2018. Criterios del Distintivo Blue Flag Playas 2018-2019. Blue Flag México y Foundation for Environmental Education, Cd. de México, 37 p.
- D.O.F., 2006. Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. NMX-AA-120-SCOFI-2006. Diario Oficial de la Federación 06 de julio del 2006.
- D.O.F., 2016. Norma Mexicana, que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. NMX-AA 120-SCFI-2016. Diario Oficial de la Federación 7 diciembre 2016. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa120-06.pdf>.
- Farrell P. y Nelson K. 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, 177: 1-3. A Handbook for Management
- Flores-Mejía M., M. Flores-Hernández, y M. Ríos-Miranda, 2012. Evaluación de la calidad ambiental en playas de uso recreativo (Acapulco, Gro.). p. 127-138. In: Y. Pica-Granados, P. Ramírez-Romero (Eds.) *Contribuciones al conocimiento de la ecotoxicología y química ambiental en México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cd. de México.
- García-Morales, G., J.A. Arreola-Lizárraga, R.A. Mendoza-Salgado, J. García-Hernández, P. Rosales-Grano, y A. Ortega-Rubio, 2018a. Evaluation of the recreational aptitude of beaches as perceived by users. *Journal of Environmental Planning and Management*, 61 (1): 161-175.
- García-Morales, G., J.A. Arreola-Lizárraga, y P. Rosales-Grano, 2018b. Integrated Assessment of Recreational Quality and Carrying Capacity of an Urban Beach. *Coastal Management*, 46 (4):316-333.
- Gower, J. y S. King, 2011. Distribution of floating *Sargassum* in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. *International Journal of Remote Sensing*, 32: 1917-1929.
- Haile, R.W., J.S. Witte, M. Gold, R. Cressey, C. McGee, R. Millikan, A. Glasser, N. Harawa, C. Ervin, P. Harmon, J. Harper, J. Dermand, J. Alamillo, K. Barrett, M. Nides, y G. Wang, 1999. The health effects of swimming in ocean water contaminated by storm drain runoff. *Epidemiology*, 10(4): 355-363.
- Hidalgo G., M.R. Castañeda-Chávez, A. Granados-Barba, y B.E. Sánchez-Domínguez, 2016. Environmental variability of tropical sandy beach across an anthropic gradient: the case of central Veracruz (Southwestern Gulf of Mexico). *International Journal of Environmental Research*, 10(4):481-490.
- Huang, G., R.A. Falconer y B. Lin, 2017. Integrated hydrobacterial modelling for predicting bathing water quality. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 188: 145-155.
- León-López, C.E., J.A. Arreola-Lizárraga, G. Padilla-Arredondo, J.E. Chávez-Villalba, R.A. Mendoza-Salgado, L.C. Méndez-Rodríguez, y J. García-Hernández, 2018. Temporal vari-

- ability of enterococci and associated sources at three subtropical recreational beaches. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 47 (4):327-336.
- Maslo, B., K., T. Pover, M. Weston, y T.A. Schlacher, 2018. Managing birds of conservation concern on sandy shores: How much room for future conservation actions is there? *Ecology and Evolution*, 8(22): 10976-10988.
- McLachlan, A., y O. Defeo, 2018. The Ecology of Sandy Shores. Third edition of Brown and McLachlan's Sandy Shores. Elsevier, Academic Press, London, 560 p.
- Napper I.E., y R.C. Thompson, 2019. Marine plastic pollution: Other than microplastics. p. 425-442. In: T. M. Letcher y D. A. Vallero (Eds.) *Waste: A Handbook for management*. Elsevier, Academic Press, London.
- Nel, R., E.E. Campbell, L. Harris, L. Hauser, D. S. Schoeman, A. McLachlan, D.R. du Preez, K. Bezuidenhout y T.A. Schlacher, 2014. The status of sandy beach science: Past trends, progress, and possible futures. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 150(Part A): 1-10.
- Ogunola, O.S y T. Palanisami, 2016. Microplastics in the Marine Environment: Current Status, Assessment Methodologies, Impacts and Solutions. *Journal of Pollution Effects & Control*, 4(2):1-14.
- Oliveira, S.S., M.H Sorgine, K. Bianco, L.H. Pinto, C. Barreto, R.M. Albano, A.M. Cardoso y M.M. Clementino, 2016. Detection of human fecal contamination by nifH gene quantification of marine waters in the coastal beaches of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24): 25210-25217.
- Orozco-Borbón M., R. Rico-Mora, S. Weisberg, R. Noble, J. Dorsey, M. Leecaster, y C. McGee, 2006. Bacteriological water quality along the Tijuana-Ensenada Baja California, México shoreline. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 1190-1196.
- Ortiz-Pérez, M.A. y G. De La Lanza-Espino, 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Instituto de Geografía UNAM, Serie Textos Universitarios, Cd. de México, No. 3, 138 p.
- Pannetier, P., J. Cachot, C. Clérandeau, F. Faure, K. Arkel, L. Alencastro, C. Levasseur, F. Sciacca, J. Bourgeois, y B. Morin, 2019. Toxicity assessment of pollutants sorbed on environmental sample microplastics collected on beaches: Part I-adverse effects on fish cell line. *Environmental Pollution*, 248: 1088-1097.
- Parish-Flannery, N., 2018. The Risks and Rewards In Mexico's Tourism Sector. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/nathanielparishflannery/2018/07/26/the-risks-and-rewards-in-mexicos-tourism-sector/#23c19251286a>.
- Pinheiro L., R. Monteiro, J. Ivar do Sul y M. Costa, 2019. Do beachrocks affect microplastic deposition on the strandline of sandy beaches? *Marine Pollution Bulletin*, 141: 569-572.
- Piñon-Colin, T.J., R. Rodríguez-Jimenez, M.A. Pastana-Corral, E. Rogel-Hernández y F. Toyohiko-Wakida, 2018. Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 131 (Part A): 63-71
- Praveena, S.M., K.S. Chen, y S.N. Ismail, 2013. Indicators of microbial beach water quality: Preliminary findings from Teluk Kemang beach, Port Dickson (Malaysia). *Marine Pollution Bulletin*, 76: 417-419.
- PROSECTUR, 2018. Informe de avance y resultados. Programa Sectorial de Turismo. Secretaría de Turismo, México. 49 p. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/460044/PROSECTUR_Avance_y_Resultados_2018_20190304.pdf
- Pruss, A., 1998. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *International Journal of Epidemiology*, 27: 1-9.
- Retama, I., S.B. Sujitha, D.M. Rivera-Rivera, V.C. Shruti, P.F. Rodríguez-Espinosa y M.P. Jonathan, 2019. Evaluation and Management Strategies of Tourist Beaches in the Pacific Coast: A Case Study from Acapulco and Huatulco, Mexico. p. 79-93. In: R. R. Krishnamurthy, M.P. Jonathan, Seshachalam Srinivasalu, Bernhard Glaeser (Eds.). *Coastal Management: Global Challenges and Innovations*. Elsevier, Academic Press, London.
- Rochman, C.M., A. Tahir, S.L. Williams, D.V. Baxa, R. Lam, J.T. Miller, F.C. Teh, S. Werorilangi, y S.J. Teh, 2015. Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5: 1-10.
- Schlacher, T.A., D.S. Schoeman, J. Dugan, M. Lastra, A. Jones, F. Scapini, y A. McLachlan, 2008. Sandy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Marine Ecology*, 29: 70-90.

- Schoeman, D.S., T.A. Schlacher, y O. Defeo. 2014. Climate-change impacts on sandy-beach biota: crossing a line in the sand. *Global Change Biology*, 20, 2383–2392.
- Silva-Íñiguez, L., C. Gutiérrez-Corona, L. Galeana-Miramontes, y A. López-Mendoza, 2007. El impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar. *Gaceta Ecológica*, 82: 69-76.
- Tilburg, Ch. E., L.M. Jordan, A.E. Carlson, S.I. Zeeman, y P.O. Yund, 2015. The effects of precipitation, river discharge, land use and coastal circulation on water quality in coastal Maine. *Royal Society Open Science*, 2: 140–429.
- Tudor D. T., y A.T. Williams, 2006. A rationale for beach selection by the public on the coast of Wales, UK. *Area*, 38(2): 153-164.
- UNEP, 2018. Sargassum White Paper - Sargassum Outbreak in the Caribbean: Challenges, Opportunities and Regional Situation. United Nations Environmental Program, Eighth Meeting of the Scientific and Technical Advisory Committee (STAC) to the Protocol Concerning Specially Protected Areas and Wildlife (SPA) in the Wider Caribbean Region. 5 - 7 December 2018, Panama City, 16 p.
- WHO, 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1 Coastal and fresh waters. World Health Organization. Retrieved January 15, 2019, from http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/srwe1/en/.
- Yang D., H. Shi, L. Li, J. Li, K. Jabeen, y P. Kollandhasamy, 2015. Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental Science Technology*, 49: 13622-13627.
- Zaitsev, Y., 2012. A key role of sandy beaches in the marine environment. *Journal Black Sea/Mediterranean Environment*, 18 (2): 114-127.

Anexos

Playas incluidas en el Programa Playas Limpias de México, localizadas en las regiones Pacífico Norte y golfo de California. Se indica el estado (negritas), el destino turístico (cursivas) y las playas asociadas.

Baja California	Baja California Sur	Sonora	Sinaloa	Nayarit
<i>Tijuana</i>	<i>La Paz</i>	<i>Bahía de Kino</i>	<i>Bahía de Altata</i>	<i>Bahía de Banderas</i>
Tijuana	Malecón I-Márquez	Bahía de Kino I	Altata	Nuevo Vallarta I
Tijuana I	de León	Bahía de Kino II	El Tambor	Sayulita
	Pichilingue	Bahía de Kino III	Altata III	Nuevo Vallarta II
<i>Ensenada</i>	Balandra			La Cruz de huana-caxtle
La joya	Malecón II	<i>Guaymas</i>	<i>Mazatlán</i>	Bucerías
Monalisa	Tecolote	Miramar	Cerritos	San Francisco
Pacífica	Malecón III	San Francisco	del Mar	El Anclote
Hermosa	El Comitán	Piedras Pintas	Zona Dorada I	
La Misión	Coromuel	Playa del Sol	Norte	
	Eréndira	Algodones	Zona Dorada III	<i>Compostela</i>
<i>Rosarito</i>	La Concha II	Cochórit	Los Pinos	Rincón de
Rosarito	Gran Baja		Zona Dorada IV	Guayabitos
Rosarito I	Caimancito	<i>Huatabampo</i>	Olas Altas	Los Ayala
	Los Barriles	Huatabampito	Isla EL Venado	Chacala
	El tesoro		Isla del Chivo	
<i>San Felipe</i>		<i>Puerto Peñasco</i>	Zona Dorada VI	<i>San Blas</i>
El Cortez		La Bajada/ Hermosa	Isla de la Piedra-EL	Las islitas
Malecón	<i>Loreto</i>	Sandy Beach	Cardón	Platanitos
Los Faisanes	Malecón de Loreto	TraylerPark/ Bonita		Las islitas 2
Campo Rubens				Bahía de Matan-chen
Burócratas	<i>Los Cabos</i>		<i>Guasave</i>	Borrego
Lindo México	Chileno	<i>San Luis Río Colorado</i>	Las Glorias	
Dorado Ranch	Palmilla	Golfo de Santa Clara		
María Resort	Costa Azul	Pueblo-Palapa	<i>Los Mochis</i>	
	San Carlos	Golfo de Santa Clara	Maviri	<i>Santiago Ixcuintla</i>
	La Empacadora /	Machorro	Maviri 3	El sesteo
	Escondida			Los Corchos
	El Medrano		<i>Culiacán</i>	
	Santa María		Ponce	<i>Tecuala</i>
	Cabo del Sol			El Novillero
	La ribera		<i>Escuinapa</i>	
	Buenavista		Las Lupitas-	
			Tecapan 1	
	<i>Puerto San Carlos</i>		Las Cabras-Isla	
	La Mantequilla		del Bosque 1	
			Las Lupitas-	
			Tecapan 2	

Playas incluidas en el Programa Playas Limpias de México, localizadas en la región Pacífico Sur.
Se indica el estado (negritas), el destino turístico (cursivas) y las playas asociadas.

Jalisco	Colima	Michoacán	Guerrero	Oaxaca	Chiapas
<i>Puerto Vallarta</i>	<i>Armería</i>	<i>Aguila</i>	<i>Acapulco</i>	<i>Huatulco</i>	<i>Tonalá</i>
Yelapa	Cuyutlán	Nexpa	Caletilla	Maguay	Boca del cielo (estero)
Los Muertos	El Paraíso	Las Brisas	Copacabana	Chahué	Puerto Arista
Quimixto		Maruata	Caleta	Bahía Santa	Boca del cielo (mar)
Del Cuate	<i>Manzanillo</i>	San Juan del	Icácos	Cruz	
Las Animas	Santiago	Alma	La Roqueta	La Bocana	
Oasis	Las Brisas	El faro de	Puerto Márquez	La Entrega	
Mismaloya	Miramar	Bucerías	Hornos	Tangolunda	<i>Tapachula</i>
Las Palmas	San Pedrito	Pichilinguillo	Majahua	<i>Puerto Ángel</i>	Linda
Las Gemelas	La Boquita		Tlacopanocha	Principal	Escolleras
Camarones	Juluapan	<i>Coahuayana</i>	Revolcadero	Zipolite	
	Salahua	Boca de Apiza	Suave	del Panteón	
	La audiencia	<i>Lázaro Cárdenas</i>	Revolcadero I		
	<i>Tecoman</i>	Jardín / Eréndira	Carabali	<i>Puerto Escondido</i>	
	Boca de Pascuales	Chuquiapan	Revolcadero II	Puerto Angelito	
	Tecuanillo	Azul	Papagayo	Zicatela	
	El Real	La Soledad	Revolcadero III	Carrizalillo	
		Las Peñas	El Morro	Principal	
		Caleta de Campos	Revolcadero IV	Marinero	
			Condesa	Bacocho	
			<i>Ixtapa</i>		
			Ixtapa / Varadero	<i>Santo Domingo</i>	
			Quieta	Concepción	
			Linda	Bamba	
			EL Palmar		
			<i>Zihuatanejo</i>		
			Las Gatas		
			La Madera		
			La Ropa		
			Principal		

Playas incluidas en el Programa Playas Limpias de México, localizadas en las regiones golfo de México y Caribe. Se indica el estado (negritas), el destino turístico (cursivas) y las playas asociadas.

Tamaulipas	Veracruz	Tabasco	Campeche	Yucatán	Quintana Roo
<i>Ciudad Madero</i>	<i>Veracruz</i>	<i>Cárdenas</i>	<i>Ciudad del</i>	<i>Telchac</i>	<i>Cancún</i>
Miramar	Antón Lizardo	Sánchez Maga- llanes	<i>Carmen</i>	Telchac	Puerto Morelos
<i>Matamoros</i>	La Bamba		Manigua	<i>Progreso</i>	Langostas
Costa Azul	Tumbao	<i>Centla</i>	Puerto real	Progreso	Delfines
(Bagdad)	José Martí	El Bosque	Norte I	Chelem I	Las Perlas
	Mocambo	Azul	Isla Aguada	Chelem II	Marlín
<i>Soto la</i>	Villa del Mar	<i>Miramar</i>	Viaducto	Chubuma	del Niño P.
<i>Marina</i>	Gaviota	Pico de Oro	Bahamita	Puerto	Juárez
La Pesca I	Playón de		Zacatal (Puen- te)	Chixulun	Tortugas
La Pesca II	Hornos	<i>Paraíso</i>		Puerto	<i>Cozumel</i>
	Pelicano	Pal-Mar			Las Casitas
	Regatas	Varadero	<i>Campeche</i>	<i>Celestún</i>	Bonita
		Mar	San Lorenzo	Celestún	Centro
		Nuevo Paraíso	Bonita		Caletita
		El Sol		<i>Sisal</i>	Dzul-ha
			<i>Champotón</i>	Sisal	San Martin
			Sombreron		Chankanaab
			Champotón	<i>Dzemul</i>	Chen Rio
			Payucan	San Benito	Rastas
			Punta Xen		Lancheros
			Boca del Río	<i>Sinanché</i>	Porto Real
				San Crisanto	Punta Esme- ralda
			<i>Calkiní</i>		Bain Publico
			Isla arena	<i>Yobaín</i>	(Muelle Fiscal)
				Chabihau	Paamul
				<i>Dzidzantun</i>	
				Santa Clara	<i>Isla Mujeres</i>
					Centro
				<i>Dzilam Bravo</i>	Norte
				Dzilam Bravo	
					<i>Othón P. Blanco</i>
				<i>Ría Lagartos</i>	Mahahual
				San Felipe	
				Río Lagartos	<i>Rivera Maya</i>
				Las Coloradas	Chenzubul
				El Cuyo	
					<i>Tulum</i>
				<i>Ixil</i>	Zamas
				Uaymitún	Maya
					Xcabel

Situación jurídica para el manejo de los ecosistemas arrecifales de México

*J. Santander-Monsalvo, M. Villada-Canela,
M. L. Bello-Sánchez y L. Ortiz-Lozano*

Resumen

México cuenta con 762 ecosistemas arrecifales en sus mares y ~11 122 km de litoral, y aunque cerca de la mitad están en 30 áreas naturales protegidas (ANP), la intención de preservarlos es reciente. Existe un marco jurídico para la protección, directa o indirecta, de los ecosistemas arrecifales, su biodiversidad y beneficios ecosistémicos. Con base en una revisión de literatura científica y gris, se recopilaron y revisaron los instrumentos jurídicos que inciden en su manejo (una Constitución Política, un Código Penal Federal, 13 leyes, 11 reglamentos, 33 normas oficiales mexicanas, 30 decretos (ANP), 28 programas de manejo y 34 tratados internacionales (convencio-

nes, convenios, programas, protocolos e iniciativas)). Si bien no existe una ley específica para la protección de los ecosistemas arrecifales, ni una norma para preservar especies coralinas o algales, existen instrumentos jurídicos dirigidos a la protección y manejo de especies comerciales y otras que eximen casi la totalidad de sus hábitats de actividades con hidrocarburos. Sólo 337 ecosistemas arrecifales están en ANP y estas regulaciones son las herramientas prominentes para su manejo en México.

Palabras clave: áreas naturales protegidas, ecosistemas arrecifales, legislación ambiental, manejo, políticas públicas.

Introducción

México tiene disposiciones para regular su zona costera (Mesta-Fernández, 2017). Por la extensión de su superficie y colindancia oceánica (Atlántico y Pacífico), tiene una diversidad biológica y ecosistémica única, cuyo manejo (aprovechamiento y conservación) ocurre en diversos ámbitos.

Los ecosistemas arrecifales marinos se han abordado en algunos ordenamientos jurídicos sin que se consideren sus procesos e interacciones abióticas y bióticas; en la actualidad, no existen trabajos que analicen su situación jurídica.

Los ecosistemas arrecifales marinos de México

Los ecosistemas arrecifales marinos de México están vastamente distribuidos sobre sus ~11 122 km de litoral y mares territoriales (figura 1). Son propensos a actividades y usos que provocan una presión antrópica crónica, desmedida e incontrolada, que termina en un cúmulo de redes de presiones de origen difuso que impiden la toma de decisiones idónea para su manejo (Ortiz-Lozano *et al.*, 2005, 2007, 2009).

Los principales usos de estos ecosistemas son pesca, turismo, actividades náuticas y extracción de hidrocarburos, que solos y en conjunto provocan ocho principales presiones (contaminación, fragmentación del hábitat, blanqueamiento coralino, sobre-

pesca, introducción de especies exóticas, sedimentación, mortalidad coralina y enfermedades coralinas), que se distribuyen intermitentemente por las siete regiones arrecifales de México (Santander-Monsalvo *et al.*, 2018).

El manejo de un ecosistema arrecifal debe considerar sus componentes, interacciones y procesos; dimensionar los límites de su uso por medio de un inventario que identifique su distribución, estructura y estado de conservación (Jordán-Dahlgren, 1993); asimismo, debe determinar su biodiversidad y su distribución (Andréfouët y Guzman, 2005) y apoyarse en un marco jurídico claro y conciso.

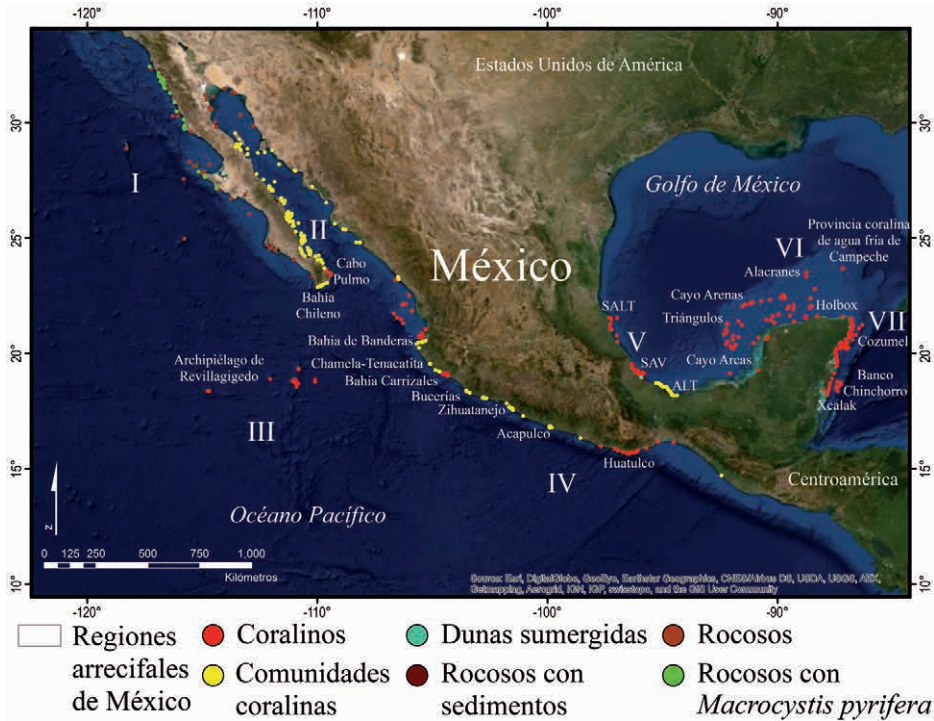


Figura 1. Ecosistemas y regiones arrecifales de México. I. Pacífico Norte, II. Golfo de California, III. Revillagigedo, IV. Pacífico Sur, V. Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, VI. Yucatán y Banco de Campeche y VII. Caribe Mexicano.

El estrés térmico, principal efecto del cambio climático, amenaza los ecosistemas arrecifales marinos sensibles a presiones naturales y antrópicas, como los bosques de *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) Agardh en los arrecifes rocosos del Pacífico, cuyas poblaciones costeras en México representan el límite sur de su distribución en el hemisferio norte (Calderón-Aguilera *et al.*, 2012; Bellgrove *et al.*, 2013; Filbee-Dexter y Wernberg, 2018). Sin embargo, uno de los ecosistemas más sensibles al estrés térmico e impactos antrópicos son los arrecifes coralinos (Parry *et al.*, 2007).

El aumento o descenso anómalos de la temperatura superficial del mar se relacio-

na con eventos de blanqueamiento (Hoegh-Guldberg, 1999; Iglesias-Prieto *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2005) y enfermedades emergentes (Harvell *et al.*, 1999; Blanchon *et al.*, 2010), que en el peor de los casos provocan mortandad (Hoegh-Guldberg, 1999; Baker *et al.*, 2008).

Este capítulo presenta la revisión y análisis de los instrumentos jurídicos que inciden en el manejo de 762 ecosistemas arrecifales marinos de México, en su mayoría coralinos (55.5 %), que se distribuyen en ~11 122 km de litoral y sus mares, de los que cerca de la mitad está en 30 áreas naturales protegidas (ANP) (Santander-Monsalvo *et al.*, 2018).

Protección de ecosistemas arrecifales en el derecho mexicano

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece (artículo 42, fracciones II y IV) que los arrecifes son parte del territorio nacional (artículo 48) y que dependerán del Gobierno Federal (DOF, 1917). Asimismo, dicta que corresponde a la Nación el dominio de los recursos naturales de la plataforma continental (artículo 27) (DOF, 1917), donde se distribuye la mayoría de los ecosistemas arrecifales. La Ley Federal del Mar (LFM), señala que la definición de plataforma continental debe comprender la plataforma de los arrecifes (artículo 62) (DOF, 1986a).

Por su parte, la Ley General de Bienes Nacionales (LGBN) establece los bienes del patrimonio de la Nación y su régimen de dominio, al situar a los arrecifes (artículo 119, fracción II) en el régimen de dominio público y uso común, que constituyen también la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) (DOF, 2004).

Los bienes de dominio público son propiedad de la Nación y los bienes de uso común son los del dominio público susceptibles de aprovechamiento, con restricciones establecidas por la ley. La LGBN señala (artículo 120) que el Ejecutivo Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), promoverá el manejo sustentable de la ZOFEMAT, quién en coordinación con demás dependencias, actores y usuarios, establecerá normas y políticas aplicables, para la armonía y desarrollo de las actividades y usos (DOF, 2004).

La revisión y análisis de la legislación ambiental vigente en México identificó que hay instrumentos que, directa o indirectamente, inciden en la protección de ecosistemas arrecifales (tabla 1).

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), es el principal ordenamiento jurídico en materia de protección ambiental que establece los principios de la política ambiental nacional (Brañes, 2000). Su objetivo es propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para preservar, restaurar y proteger el ambiente (DOF, 1988). Considera de utilidad pública establecer, proteger y preservar ANP y zonas de restauración ecológica; formular y ejercer acciones para proteger y preservar la biodiversidad nacional; aprovechar el material genético; y establecer zonas intermedias de salvaguardia por la presencia de actividades riesgosas.

La LGEEPA define como ecosistemas costeros las playas, dunas, acantilados, franjas intermareales, lagunas interdunarias, lagunas costeras, esteros, marismas, pantanos, ciénagas, manglares, petenes, oasis, cenotes, pastizales, palmares, selvas inundables, arrecifes coralinos, ecosistemas formados por comunidades de macroalgas y de pastos marinos, fondos marinos o bentos y costas rocosas, cuya característica es que se localizan en la zona costera, marina y terrestre, en una franja que abarca desde el mar a partir de una profundidad menor a 200 m, hasta 100 km tierra adentro o 50 m de elevación.

La LGEEPA prevé como instrumentos de política ambiental el Ordenamiento Ecológico del Territorio, la Evaluación del Impacto Ambiental y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia ambiental. El Ordenamiento, se lleva a cabo a través

Tabla 1. Ordenamientos jurídicos nacionales aplicables a los ecosistemas arrecifales.

Instrumento	Publicación	Última reforma
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.	05/02/1917	26/03/2019
Código Penal Federal.	14/08/1931	05/11/2018
Ley de Aguas Nacionales.	01/12/1992	24/03/2016
Ley de Hidrocarburos.	11/08/2014	15/11/2016
Ley de Navegación y Comercio Marítimos.	01/06/2006	19/12/2016
Ley de Vertimientos en las Zonas Marinas Mexicanas	17/01/2014	-
Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.	07/06/2013	-
Ley Federal del Mar.	08/01/1986	-
Ley Federal sobre Metrología y Normalización.	01/07/1992	15/06/2018
Ley General de Bienes Nacionales.	20/05/2004	19/01/2018
Ley General de Cambio Climático.	06/06/2012	13/07/2018
Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables.	24/07/2007	24/04/2018
Ley General de Vida Silvestre.	03/07/2000	19/01/2018
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).	28/01/1988	05/06/2018
Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.	29/12/1976	30/11/2018
Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.	12/01/1994	25/08/2014
Reglamento de la Ley de Hidrocarburos.	31/10/2014	-
Reglamento de la Ley de Navegación y Comercio Marítimos.	04/03/2015	-
Reglamento de la Ley de Pesca .	29/09/1999	28/01/2004
Reglamento de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.	14/01/1999	28/11/2012
Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre.	30/11/2006	09/05/2014
Reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas.	30/11/2000	21/05/2014
Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.	30/05/2000	31/10/2014
Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico.	08/08/2003	31/10/2014
Reglamento para el uso y aprovechamiento del Mar Territorial, Vías navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar.	21/08/1991	-
Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias.	23/01/1979	-

de Programas de Ordenamiento Ecológico, entre los que se encuentra el marino, que establece lineamientos, estrategias y previsiones para el aprovechamiento, preservación, protección y restauración, de los recursos naturales, así como la realización de actividades productivas y demás obras o actividades que puedan afectar los ecosiste-

mas en áreas específicas de zonas marinas mexicanas.

La Evaluación del Impacto Ambiental, es el procedimiento por el que la SEMARNAT establece las condiciones a las que se sujetarán las obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en

las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos; las obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, ANP, así como actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias que puedan poner en peligro o dañar la preservación de biodiversidad y sus ecosistemas requieren autorización en materia de impacto ambiental.

La LGEEPA prevé que, para garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, la SEMARNAT emitirá NOM en materia ambiental que establecerán requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, metas, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en: regiones, zonas, cuencas o ecosistemas; aprovechamiento de recursos naturales; desarrollo de actividades económicas; producción, uso y destino de bienes e insumos y procesos; y considerar las condiciones necesarias para el bienestar de la población.

Además, para proteger el medio marino, la SEMARNAT emitirá las NOM para explotar, preservar y administrar los recursos naturales, bióticos y abióticos, del lecho y el subsuelo del mar y sus aguas suprayacentes, que deberán observarse para realizar actividades de exploración y explotación en la Zona Económica Exclusiva (ZEE).

La LGEEPA considera las ANP y a las zonas de restauración como instrumentos de política ecológica. Las ANP son áreas del territorio nacional donde la Nación ejerce soberanía y jurisdicción, en los ambientes que no han sido significativamente alterados por actividades antrópicas, o donde sus ecosistemas y procesos requieren preservarse y restaurarse. Prevé que, para proteger y preservar los ecosistemas marinos y lograr el aprovechamiento sustentable de su biodiversidad, se podrán establecer reservas de

la biosfera, parques nacionales, monumentos naturales, áreas de protección de flora y fauna y santuarios (DOF, 1988).

Asimismo, en áreas con procesos acelerados de degradación o graves desequilibrios ecológicos, que impliquen pérdida de recursos de difícil regeneración, recuperación o restablecimiento, o afectaciones irreversibles a los ecosistemas y/o sus elementos, la SEMARNAT promoverá la expedición de declaratorias para establecer zonas de restauración, donde se formularán y ejecutarán programas de restauración ecológica.

Ley General de Cambio Climático

La Ley General de Cambio Climático reconoce que la federación debe establecer, regular e instrumentar acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, en materia de preservación, restauración, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de arrecifes, entre demás ecosistemas (DOF, 2012).

Prevé que en la formulación de la política nacional de cambio climático se observará como un principio la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad, y que se dará prioridad, entre otros, a los arrecifes que brindan servicios ambientales, fundamentales para reducir la vulnerabilidad.

Por otra parte, se prevé que los tres órdenes de gobierno implementarán acciones para la adaptación y, en esa medida, fortalecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas terrestres, playas, costas y zona federal marítima terrestre, humedales, manglares, arrecifes, ecosistemas marinos y dulceacuícolas, mediante acciones para la restauración de la integridad y la conectividad ecológicas.

Asimismo, se prevé que para reducir las emisiones, las dependencias y entidades de

la administración pública federal, las entidades federativas y los municipios, promoverán el diseño y la elaboración de políticas y acciones de mitigación asociadas a los sectores correspondientes, considerando fortalecer, entre otros, los esquemas de manejo sustentable y la restauración de bosques, selvas, humedales y ecosistemas costeros y marinos, en particular los manglares y los arrecifes de coral.

Ley Federal del Mar

La Ley Federal del Mar (LFM) rige en las zonas marinas del territorio nacional. Prevé (artículo 36, fracción IV) que son aguas marinas interiores las comprendidas entre la costa y las líneas de base desde las que se mide el Mar Territorial (MT), que incluyen las internas de los arrecifes. Señala (artículo 62) que la definición de plataforma continental y las plataformas insulares mexicanas comprenden la plataforma de islas, cayos y arrecifes del territorio nacional.

Por otro lado, (artículo 6, fracciones II, IV, V y VI) la soberanía de la Nación, en los límites de las zonas marinas, se ejercerá con lo dispuesto por la Constitución, el derecho internacional y la legislación nacional aplicable a (entre otros): los recursos marinos vivos, su conservación y utilización; el establecimiento de parques nacionales (marinos); la promoción de recreación y turismo; el establecimiento de comunidades pesqueras; la protección y preservación del medio marino, incluida la prevención de su contaminación; y la realización de actividades de investigación científica.

La LFM hace referencia a la construcción, instalación, conservación, mantenimiento, reparación y demolición de bienes inmuebles dedicados a la exploración, localización, perforación, extracción y desarrollo de recursos marinos, o destinados a servicio público o al uso común de zonas marinas,

que deberá realizarse observando las disposiciones legales en la materia, entre las que se encuentran las que se refieren a la protección ambiental en general y de los ecosistemas marinos en particular (Brañes, 2000).

Su aplicación (artículo 18) se realiza en estricta observancia de la legislación pesquera, de las disposiciones emanadas de ella y demás aplicables, en cuanto a medidas de conservación y utilización de los recursos vivos en sus zonas marinas.

Asimismo, en el ejercicio de los poderes, derechos, jurisdicciones y competencias de la Nación en zonas marinas (capítulo IV, artículo 21), se aplicará, entre otras, la LGEEPA (DOF, 1988), ley vigente que abrogó la Ley Federal de Protección al Ambiente, prevista originalmente por la LFM para este efecto y con lo que determinó que en las zonas objeto de su regulación, se aplicará el derecho interno relativo a la protección del ambiente, así como el derecho internacional en materia de protección y preservación del medio marino.

Ley de Aguas Nacionales

Tiene por objeto regular el aprovechamiento, explotación o uso de las aguas, su control y distribución, la preservación de su calidad y cantidad que logre su desarrollo integral y sustentable, que es aplicable a las aguas de zonas marinas (DOF, 1992a).

Establece que no se requiere concesión para la extracción de aguas marinas interiores y del MT, para su aprovechamiento, explotación o uso, salvo aquellas que tengan como fin la desalinización (artículo 17); señala que la autoridad del agua tendrá a su cargo, entre otros, autorizar el vertido de aguas residuales (artículo 3, fracción VI) en el mar, en coordinación con la Secretaría de Marina (SEMAR) cuando provengan de fuentes móviles o plataformas fijas (artículo 86, fracción VI).

Define los humedales (artículo 3, fracción XXX) como zonas de transición entre ambientes y ecosistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, manglares, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen la vegetación hidrófila, permanente o estacional, así como las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico y las áreas lacustres o de suelos permanecen húmedos por la descarga natural de acuíferos (DOF, 1992a).

Para la preservación de los humedales afectados por regímenes de flujo de aguas nacionales, la Comisión Nacional del Agua tendrá (entre otras) atribuciones de: 1) delimitar y llevar el inventario de los humedales en bienes nacionales o de aquellos inundados por aguas nacionales; 2) promover las reservas de aguas nacionales o la reserva ecológica conforme a la Ley para la preservación de humedales; 3) proponer las NOM para preservar, proteger y, en su caso, restaurar humedales, sus aguas que los alimenten y los ecosistemas acuáticos e hidrológicos que forman parte de los mismos; 4) promover y, en su caso, realizar acciones y medidas para rehabilitar o restaurar los humedales, así como para fijar un entorno natural o perímetro de protección de la zona húmeda, a efecto de preservar sus condiciones hidrológicas y ecosistémicas; y 5) otorgar permisos para secar humedales cuando se trate de aguas y bienes nacionales, con fines de protección o prevención de daños a la salud pública.

La Ley no menciona ecosistemas arrecifales, pero prevé medidas de regulación específicas para actividades que inciden en los ambientes en donde se desarrollan, de manera particular en lo que se refiere a las descargas de aguas residuales, así como la

realización de acciones específicas dirigidas a la preservación de los humedales.

Ley General de Vida Silvestre

La Ley General de Vida Silvestre es reglamentaria de la Constitución (artículo 27, párrafo tercero; artículo 73, fracción XXIX, inciso G) y define la vida silvestre (artículo 3, fracción XLIX) como los organismos que subsisten procesos de evolución natural y se desarrollan libremente en su hábitat, los individuos bajo control del hombre y especies ferales.

Considera que es deber de todos conservar la vida silvestre (artículo 4; artículo 5), al prohibir cualquier acto que implique su daño, destrucción o perturbación, en perjuicio de los intereses de la Nación y enfatiza que el objetivo de la política nacional en materia de vida silvestre y su hábitat, es su conservación mediante la protección y aprovechamiento sustentable, que mantenga y promueva la restauración de su diversidad y recuperación de su integridad.

La Ley prevé que corresponde a la Federación la promoción, registro y supervisión técnica del establecimiento de Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre. En materia de conservación, considera especies o poblaciones prioritarias y en riesgo. En el caso de las especies o poblaciones en riesgo (en peligro de extinción, amenazadas y sujetas a protección especial), la SEMARNAT las identificará en listas, de conformidad con lo establecido en la NOM correspondiente; asimismo, para las especies o poblaciones prioritarias, la SEMARNAT elaborará listados que publicará en el Diario Oficial de la Federación; además, se implementarán programas para conservar, recuperar, reproducir y reintroducir especies y poblaciones en su hábitat (DOF, 2000).

La Ley contempla las figuras de hábitat

crítico para la conservación de la vida silvestre y áreas de refugio para proteger especies acuáticas (artículo 9o, fracción XVII; artículo 60), al considerar que la conservación del hábitat natural de la vida silvestre es de interés público.

Los hábitats críticos para la conservación de la vida silvestre (artículo 63) se establecen por Acuerdo Secretarial y son áreas específicas para alimentación, depredación, forrajeo, descanso, crianza, reproducción o rutas de migración, en las que ocurren procesos biológicos, físicos y químicos, para la supervivencia de especies en categoría de riesgo que requieren manejo y protección especial.

Las áreas de refugio para proteger especies acuáticas (artículo 65; artículo 67), se establecen por Acuerdo Secretarial para proteger especies nativas silvestres que se desarrollan en el medio acuático, en aguas de jurisdicción federal, ZOFEMAT y terrenos inundables, donde se aplicarán medidas de manejo y conservación que contribuyan a su desarrollo y conserven y protejan sus hábitats.

Para el aprovechamiento sustentable de vida silvestre se prevé el aprovechamiento extractivo y no extractivo.

El aprovechamiento extractivo de ejemplares, partes y derivados de vida silvestre requiere autorización previa de la SEMARNAT, que establecerá la tasa de aprovechamiento y su temporalidad. Podrá autorizarse para actividades de colecta, captura o caza con fines de reproducción, restauración, recuperación, repoblación, reintroducción, translocación, económicas o de educación ambiental. Se autorizará el aprovechamiento de ejemplares de especies en riesgo cuando se dé prioridad a la colecta y captura para actividades de restauración, repoblamiento, reintroducción e investiga-

ción científica, condicionando cualquier otro aprovechamiento en el caso de poblaciones en peligro de extinción y amenazadas.

Por su parte, el aprovechamiento no extractivo de vida silvestre, será autorizado por la SEMARNAT y se realizará de conformidad con la zonificación y capacidad de uso determinadas, de acuerdo con las NOM o en su defecto de acuerdo con el plan de manejo aprobado.

Por otra parte, prevé un capítulo en materia de movilidad y dispersión de poblaciones de especies silvestres nativas, enfocado a prohibir el uso de cercos u otros métodos, para retener o atraer ejemplares de fauna silvestre nativa, con el objeto de facilitar su movimiento y dispersión y evitar la fragmentación de su hábitat; pese a esto, se circunscribe al medio terrestre sin que aborde el tema de conectividad marina.

En materia de ecosistemas arrecifales la Ley los menciona a través del régimen de protección especial que brinda a los ecosistemas de manglar, desde la perspectiva de su interacción con ellos. Sin embargo, esta Ley incide o puede incidir en su protección y conservación a través de las figuras normativas que se han abordado y que representan mecanismos que de manera directa o indirecta pueden contribuir a su conservación.

Ley de Navegación y Comercio Marítimos

La Ley de Navegación y Comercio Marítimos regula las vías generales de comunicación por agua, la navegación, su protección y servicios, así como los actos, hechos y bienes relacionados con el comercio marítimo (DOF, 2006).

Dispone que todo aquel que ocasione directa o indirectamente un daño a los eco-

sistemas marinos o sus componentes, estará obligado a la reparación de daños o bien, a la compensación ambiental que proceda de conformidad con lo dispuesto en la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (DOF, 2013).

Procura (capítulo VII) prevenir y controlar la contaminación marina, al prohibir derrames de hidrocarburos que se transporten como carga o se lleven en tanques de consumo de las embarcaciones, así como descargar, derramar, arrojar o cualquier otro acto equivalente de lastre, escombros, basura, aguas residuales, cualquier elemento en cualquier estado de la materia o energía que cause o pueda causar un daño a la vida, ecosistemas y recursos marinos.

Le corresponde a la SEMAR certificar e inspeccionar que las embarcaciones cumplan en materia de prevención y control de contaminación marina y reportar a las demás dependencias cualquier contingencia en materia de contaminación marina; y verificar las posibles afectaciones y sanciones en las zonas marinas establecidas en la LFM, donde aplicará el Plan Nacional de Contingencias para combatir y controlar derrames de hidrocarburos y demás sustancias nocivas en el mar, en coordinación con demás dependencias federales.

La SEMARNAT apoyará a la SEMAR con los programas de prevención y control de la contaminación marina, el Plan Nacional de Contingencias y en las sanciones a los infractores en el ámbito de su competencia.

Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable

Tiene por objeto regular, fomentar y administrar el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas; asimismo, plantea establecer y definir los principios para ordenar, fomentar y regular el manejo inte-

gral y aprovechamiento sustentable de la pesca y acuicultura, al considerar aspectos sociales, tecnológicos, productivos, biológicos y ambientales (DOF, 2007).

Prevé que la SEMARNAT se coordinará con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a través de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, para que emitan recomendaciones sustentadas, fundadas y motivadas, sobre los permisos y concesiones de pesca y acuicultura que se pretendan otorgar, así como los volúmenes de pesca incidental en materia de preservación, restauración del equilibrio ecológico y la protección del ambiente, particularmente en ANP.

Busca fomentar y promover áreas de protección, restauración, rehabilitación y conservación de los ecosistemas costeros y de aguas interiores (en los términos establecidos en la LGEEPA); dictar medidas dirigidas a la protección de mamíferos marinos, tortugas y especies sujetas a un estado de protección; y establecer vedas, parciales o totales. Por su parte, la SADER procederá a la revocación de la concesión o permiso cuando sus titulares afecten el ecosistema o lo pongan en riesgo inminente.

Las zonas de refugio (artículo 4, fracción LI) son áreas delimitadas en aguas de jurisdicción federal, con la finalidad de conservar y contribuir, natural o artificialmente, al desarrollo de recursos pesqueros con base en su reproducción, crecimiento o reclutamiento, así como preservar y proteger su ambiente.

Sin embargo, la Ley no prevé la manera en que se establecerán las zonas de refugio y como se realizará su manejo, tampoco prevé algún concepto o figura asociada a la conectividad ecosistémica. No obstante, dicho procedimiento se prevé en la NOM-049-SAG/PESC-2014, que también hace re-

ferencia al incremento de beneficios a través del establecimiento de estas zonas ubicadas en la misma área o región, ya que pueden tener influencia unas sobre otras, de tal manera que se conformen redes conectadas biológicamente (DOF, 2014a). Existen nueve acuerdos regulatorios de zonas de refugio pesquero, ubicados en los estados de Baja California Sur, Quintana Roo, Sinaloa y Sonora, que incorporan cuarenta polígonos.

Ley de Vertimientos en las Zonas Marinas Mexicanas

Tiene por objeto el control y prevención de la contaminación o alteración del mar por vertimientos en las zonas marinas mexicanas (DOF, 2014b).

Define como vertimiento (artículo 3): 1) toda evacuación, eliminación, introducción o liberación, accidental o deliberada, de desechos u otros materiales como aguas de lastre alóctonas de buques, aeronaves, plataformas y demás construcciones; 2) el hundimiento de buques, aeronaves, plataformas y demás construcciones y sus derivados; 3) el almacenamiento de desechos y demás materiales en el lecho del mar o en su subsuelo desde buques, aeronaves, plataformas y demás construcciones; 4) el abandono de buques, aeronaves, plataformas y demás construcciones u objetos como artes de pesca; 5) la descarga de cualquier materia orgánica como atrayente de especies biológicas, cuyo fin no sea su pesca; 6) colocar materiales u objetos de cualquier naturaleza, con el objeto de crear arrecifes artificiales, muelles, espigones, escolleras o cualquier otra estructura; y 7) la resuspensión de sedimento, consistente en el cambio del sedimento depositado a un estado de suspensión en la columna de agua, por cualquier método o procedimiento.

La SEMAR es la autoridad en materia de vertimientos y tiene facultades para, entre otros aspectos, otorgar y cancelar permisos de vertimientos y vigilar su cumplimiento; suspender vertimientos deliberados de desechos y demás materiales; determinar zonas de tiro o en su caso autorizar las propuestas por los interesados; evaluar el origen, circunstancias y efectos del vertimiento con base en la justificación que presente el interesado, al considerar, entre otros, el tipo, naturaleza y cantidad de desechos que pretendan verterse y el peligro potencial que puede representar el vertimiento para la salud humana o el ambiente, la biota costera y marina, los recursos minerales marinos, la dinámica costera y marina, las playas y valores económicos, recreativos, escénicos y usos legítimos del mar, particularmente en relación con los cambios sustanciales en la diversidad, productividad y estabilidad de los ecosistemas marinos (DOF, 2014b).

Ley de Hidrocarburos

La Ley de Hidrocarburos es reglamentaria de la Constitución (artículo 25, párrafo cuarto; artículo 27, párrafo séptimo; artículo 28, párrafo cuarto) en materia de hidrocarburos y, entre otros, regula el Reconocimiento y Exploración Superficial –y– la Exploración y Extracción de Hidrocarburos (DOF, 2014c).

México es un país gasero y petrolero (Ansell, 1998; Cifuentes-Lemus *et al.*, 2001; Monaldi, 2010; Rabasa-Kovacs, 2013; Aguilera-Gómez *et al.*, 2014; Cárdenas-Solórzano, 2015; Merchand, 2015), por ello la Ley establece que los permisionarios de actividades reguladas por la Secretaría de Energía (SENER) o la Comisión Reguladora de Energía (CRE), serán responsables de daños, desperdicios y derrames de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos.

Deberán avisar a la SENER, la CRE, la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, entre demás autoridades, sobre cualquier siniestro, hecho o contingencia que ponga en peligro la vida, salud, seguridad y el ambiente, para aplicar planes de contingencia, medidas de emergencia, acciones de contención y presentar un informe de hechos con acciones y medidas para su control, un informe de causas y, en su caso, uno de remediación (DOF, 2014c).

La Ley no menciona a los ecosistemas arrecifales, pero sí establece acciones (artículo 130) para la atención a contingencias, prevención y reparación de daños al ambiente o el equilibrio ecológico que ejecutarán los asignatarios, contratistas, autorizados y permisionarios responsables de daños por sus actividades (DOF, 2014c).

Además de que en ANP no se otorgan asignaciones ni contratos para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos, la Ley estableció la figura de Zonas de Salvaguarda (artículo 4, fracción XL; artículo 41) que definió como áreas de reserva en las que el Estado prohíbe actividades de Exploración y Extracción de Hidrocarburos, pero no prohíbe actividades de Reconocimiento y Exploración Superficial (artículo 4, fracción XXXII), que incluyen estudios de evaluación con metodologías desde la superficie marina. Se establecen por Decreto presidencial por recomendación de la SENER, con fundamento en dictámenes técnicos respectivos (DOF, 2014c).

Se publicó el Decreto que establece la zona de salvaguarda Arrecifes de Coral del Golfo de México y Caribe Mexicano, conformada por 60 polígonos que consideran 58 zonas arrecifales en su mayoría coralinos de los mares de Veracruz, Campeche, Yu-

catán y Quintana Roo, con una superficie total de 6 172.04 km², donde se prohíben las actividades de Exploración y Extracción de hidrocarburos (DOF, 2016a).

Las vastas extensiones de las zonas de salvaguarda de la plataforma de Yucatán y Caribe Mexicano (DOF, 2016b) y del golfo de California-península de Baja California – Pacífico Sudcaliforniano (DOF, 2016c), consideran comunidades y ecosistemas arrecifales coralinos, rocosos y rocosos con bosques de *M. pyrifera*; y la zona de salvaguarda Manglares y sitios Ramsar considera 13 zonas arrecifales (tabla 2) (DOF, 2016d).

Ley Orgánica de la Administración Pública Federal

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF) establece las atribuciones de la SEMARNAT y la SEMAR (DOF, 1976).

A la SEMARNAT (artículo 32 Bis, fracciones V, VI y VIII) le corresponde, entre demás aspectos y en coordinación con demás autoridades, vigilar y estimular el cumplimiento de leyes, NOM y programas relacionados con el ambiente, su biodiversidad y sus recursos naturales, así como imponer sanciones, proponer al Ejecutivo Federal el establecimiento de ANP y promover la participación de autoridades, académicos y particulares para su manejo, así como ejercer la posesión y propiedad de la nación en playas, ZOFEMAT y terrenos ganados al mar.

Además (artículo 32 Bis, fracción XXIV), en coordinación con la SEMAR, le corresponde establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones que satisfagan las descargas de aguas residuales y autorizar, en su caso, su vertimiento en el mar y demás depósitos de agua de la nación.

A la SEMAR (artículo 30 fracciones V, inciso C, XXIV y XXV) le corresponde, entre

Tabla 2. Zonas arrecifales de la zona de salvaguarda Manglares y sitios Ramsar.

Sitio Ramsar	Designación	Área (ha)	Latitud N	Longitud O
Sian Ka'an.		652 193	19° 30'	87° 37'
Cuencas y corales de la zona costera de Huatulco.	27/11/2003	44 400	15° 47'	96° 12'
Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.		17 949	18° 20'	87° 48'
Parque Nacional Isla Contoy.		5 126	21° 29'	86° 47'
Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo.		636 685	18° 50'	112° 47'
Parque Nacional Bahía de Loreto.		206 581	25° 49'	111° 08'
Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro.	02/02/2004	144 360	18° 35'	87° 20'
Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.		52 238	19° 08'	96° 00'
Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.		9 066	20° 55'	86° 50'
Islas Marietas.		1 357	20° 42'	105° 34'
Parque Nacional Arrecifes de Cozumel.	02/02/2005	11 987	20° 16'	87° 02'
Parque Nacional Arrecife Alacranes.	02/02/2008	334 113	22° 28'	89° 41'
Parque Nacional Cabo Pulmo.		7 100	23° 27'	109° 25'

demás atribuciones, ejercer su autoridad en materia de vertimiento de desechos y otras materias distintas a las residuales al mar, intervenir en la protección y conservación del ambiente marino e inspeccionar, patrullar y llevar a cabo labores de reconocimiento y vigilancia para preservar ANP en coordinación con demás autoridades.

Normas Oficiales Mexicanas

De conformidad con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, las NOM (artículo 3°, fracción XI) son las regulaciones técnicas de observancia obligatoria que establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación (DOF, 1992b).

La LOAPF, prevé que corresponde a la SEMARNAT, junto con demás dependencias

y autoridades (artículo 32 Bis, fracción IV), establecer y cumplir NOM sobre preservación y restauración de la calidad del ambiente; los ecosistemas; el aprovechamiento sustentable de recursos naturales y biodiversidad acuática y terrestre; descargas residuales; minería; y materiales y residuos sólidos peligrosos (DOF, 1976).

La SEMARNAT ha expedido ~132 NOM en materia de agua; contaminación auditiva; emisiones de fuentes fijas; emisiones de fuentes móviles; impacto ambiental; lodos y biosólidos; medición de concentraciones; metodologías; protección de biodiversidad; residuos; y suelos.

Las que inciden directamente en la protección de ecosistemas arrecifales (tabla 3) están en la materia de protección de biodiversidad, a través de la NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo y la NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones

Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas en materia arrecifal.

Norma Oficial Mexicana	Objeto y campo de aplicación	Publicación	Materia
MODIFICACIÓN a la Norma Oficial Mexicana NOM-017-PESC-1994, Para regular las actividades de pesca deportivo-recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicada el 9 de mayo de 1995.	Establece términos y condiciones para aprovechar los recursos pesqueros de fauna en actividades de pesca deportivo-recreativa en aguas de jurisdicción federal.	25/11/2013	Pesca
NOM-001-SAG/PESC-2013, Pesca responsable de túnidos. Especificaciones para las operaciones de pesca con red de cerco.	Establece términos y condiciones para la pesca de túnidos con embarcaciones con red de cerco, para inducir al aprovechamiento sustentable y minimizar la mortalidad de delfines.	16/01/2014	Pesca
NOM-002-SAG/PESC-2013, Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Establece especificaciones técnicas, criterios y procedimientos para regular la pesca de camarón, para la preservación, conservación y aprovechamiento sustentable de las poblaciones de las especies de camarón.	06/07/2013	Pesca
NOM-003-SAG/PESC-2018, Para regular el aprovechamiento de las especies de peces pelágicos menores con embarcaciones de cerco, en aguas de jurisdicción federal del océano Pacífico, incluyendo el golfo de California.	Establece términos y condiciones para pescar pelágicos menores con embarcaciones con red de cerco que operen en aguas de jurisdicción federal del océano Pacífico incluyendo el golfo de California, para inducir su aprovechamiento sustentable.	12/03/2019	Pesca
NOM-004-SAG/PESC-2015, Especificaciones para el aprovechamiento de la almeja catarina (<i>Argopecten circularis</i>) en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Establece términos y condiciones para aprovechar almeja Catarina (<i>Argopecten circularis</i>) de las poblaciones naturales de las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	06/10/2015	Pesca
NOM-005-PESC-1993, para regular el aprovechamiento de las poblaciones de las distintas especies de abulón en aguas de jurisdicción federal de la península de Baja California.	Define términos y condiciones para el aprovechamiento óptimo de las especies de abulón.	21/12/1993	Pesca
NOM-006-SAG/PESC-2016, Para regular el aprovechamiento de todas las especies de langosta en las aguas de jurisdicción federal del golfo de México y mar Caribe, así como del océano Pacífico incluyendo el golfo de California.	Establece términos y condiciones para aprovechar todas las especies de langosta en las aguas de jurisdicción federal del golfo de México y mar Caribe, así como del océano Pacífico, incluyendo el golfo de California.	07/09/2016	Pesca
NOM-007-SAG/PESC-2015, Para regular el aprovechamiento de las poblaciones de erizo rojo y morado en aguas de jurisdicción federal del océano Pacífico de la costa oeste de Baja California.	Establece términos y condiciones para aprovechar las poblaciones de erizo rojo y morado en aguas de jurisdicción federal del océano Pacífico de la costa oeste de Baja California, para inducir su aprovechamiento sustentable.	24/06/2015	Pesca

Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas en materia arrecifal.

Norma Oficial Mexicana	Objeto y campo de aplicación	Publicación	Materia
NOM-008-SAG/PESC-2015 , Para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del golfo de México y mar Caribe.	Establece términos y condiciones para aprovechar las especies de pulpo de las aguas de jurisdicción federal del golfo de México y mar Caribe.	13/04/2016	Pesca
NOM-009-SAG/PESC-2015 , Que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Especifica el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de diferentes especies de flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	12/02/2016	Pesca
NOM-012-TUR-2016 , Para la prestación de servicios turísticos de buceo.	Establece especificaciones de información que el prestador de servicios turísticos de buceo debe proporcionar al usuario o turista, así como las condiciones de seguridad en las que debe prestar sus servicios.	02/09/2016	Turismo
NOM-013-SAG/PESC-2016 , Para regular el aprovechamiento de las especies de caracol en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.	Establecer términos y condiciones para aprovechar las especies de caracol de las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.	19/08/2016	Pesca
NOM-014-SAG/PESC-2015 , Especificaciones para regular el aprovechamiento de almeja generosa (<i>Panopea generosa</i> y <i>Panopea globosa</i>) en aguas de jurisdicción federal del litoral del océano Pacífico y golfo de California.	Establece términos y condiciones para aprovechar almeja generosa de las aguas de jurisdicción federal del litoral del océano Pacífico incluyendo el golfo de California, para inducir su aprovechamiento sustentable.	25/06/2015	Pesca
NOM-016-SAG/PESC-2014 , Para regular la pesca de lisa y liseta o lebrancha en aguas de jurisdicción federal del golfo de México y mar Caribe, así como del Océano Pacífico, incluyendo el golfo de California.	Establece términos y condiciones para aprovechar la lisa y la liseta o lebrancha de las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, para inducir su aprovechamiento sustentable.	29/07/2015	Pesca
NOM-022-SAG/PESC-2015 , Para regular el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones vareras en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Establece términos y condiciones para la pesca de túnidos con embarcaciones vareras mexicanas para inducir el óptimo aprovechamiento de atún aleta amarilla o rabil (<i>Thunnus albacares</i>) y barrilete (<i>Katsuwonus pelamis</i>) en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos y en aguas marinas de la Comisión Interamericana del Atún Tropical.	12/06/2015	Pesca
NOM-022-SEMARNAT-2003 , Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.	Establece especificaciones que regulen el aprovechamiento sustentable en humedales costeros para prevenir su deterioro, fomentando la conservación y restauración.	10/04/2003	Humedales costeros

Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas en materia arrecifal.

Norma Oficial Mexicana	Objeto y campo de aplicación	Publicación	Materia
NOM-023-SAG/PESC-2014 , Que regula el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones palangreras en aguas de jurisdicción federal del golfo de México y mar Caribe.	Establece términos y condiciones para aprovechar el atún aleta amarilla o rabil (<i>Thunnus albacares</i>) en aguas marinas de jurisdicción federal del golfo de México y mar Caribe de los Estados Unidos Mexicanos.	16/04/2014	Pesca
NOM-029-PESC-2006 , Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento.	Induce el aprovechamiento sostenible de tiburones y rayas, contribuye a la conservación y protección de elasmobranchios y demás especies capturadas incidentalmente.	14/02/2007	Pesca
NOM-049-SAG/PESC-2014 , Que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Especifica el procedimiento para determinar zonas de refugio para recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	14/04/2014	Pesca
NOM-052-SEMARNAT-2005 , Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.	Establece el procedimiento para identificar si un residuo es peligroso; incluye listados de residuos peligrosos y características.	23/06/2006	Residuos
NOM-058-SAG/PESC/SEMARNAT-2013 , Para regular el cultivo de las ostras perleras: madreperla (<i>Pinctada mazatlanica</i>), concha nacar (<i>Pteria sterna</i>), madreperla del Atlántico (<i>Pinctada imbricata</i>) y la ostra perlera alada del Atlántico (<i>Pteria colymbus</i>) en aguas marinas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Establece características, especificaciones y criterios para regular el cultivo sustentable de ostras perleras: madreperla (<i>Pinctada mazatlanica</i>), concha nacar (<i>Pteria sterna</i>), madreperla del Atlántico (<i>Pinctada imbricata</i>) y ostra perlera alada del Atlántico (<i>Pteria colymbus</i>) en aguas marinas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	23/12/2013	Acuicultura
NOM-059-SEMARNAT-2010 , Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.	Identifica especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo, al integrar listas correspondientes, así como establecer criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción.	30/12/2010	Biodiversidad
NOM-061-SAG-PESC/SEMARNAT-2016 , Especificaciones técnicas de los excluidores de tortugas marinas utilizados por la flota de arrastre camaronera en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Establecer especificaciones técnicas de los dispositivos excluidores de tortugas marinas (DET) de tipo rígido, en las redes de arrastre utilizadas en la pesca comercial y didáctica de camarón, que se realice en aguas de jurisdicción federal, para contribuir a la protección de las poblaciones de tortugas marinas y disminuir su captura incidental.	13/12/2016	Pesca

Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas en materia arrecifal.

Norma Oficial Mexicana	Objeto y campo de aplicación	Publicación	Materia
NOM-062-SAG/PESC-2014 , Para la utilización del Sistema de Localización y Monitoreo Satelital de Embarcaciones Pesqueras.	Contribuye al aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y marinos, con un mayor control de las operaciones de las embarcaciones pesqueras nacionales.	03/07/2015	Pesca
NOM-064-SAG/PESC/SEMARNAT-2013 , Sobre sistemas, métodos y técnicas de captura prohibidos en la pesca en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.	Evita el uso de sistemas y métodos de pesca que impliquen el deterioro de recursos pesqueros y su fauna asociada en aguas de jurisdicción federal.	21/01/2015	Pesca
NOM-065-SAG/PESC-2014 , Para regular el aprovechamiento de las especies de mero y especies asociadas, en aguas de jurisdicción federal del litoral del golfo de México y mar Caribe.	Establece términos y condiciones para aprovechar 18 especies de mero y 16 especies asociadas, en el litoral del golfo de México y mar Caribe.	03/07/2015	Pesca
NOM-06-TUR-2017 , Requisitos mínimos de operación, información, higiene, seguridad, instalaciones y equipamiento que deben cumplir los prestadores de servicios turísticos de campamentos.	Establece especificaciones de operación, información, higiene, seguridad, instalaciones y equipamiento que deben cumplir los Prestadores de Servicios Turísticos de Campamentos.	27/04/2018	Turismo
NOM-09-TUR-2002 , Que establece los elementos a que deben sujetarse los guías especializados en actividades específicas.	Define procedimientos, requisitos de información, seguridad y protección al turista y medio ambiente, patrimonio natural y cultural que realizan los guías de turistas especializados.	26/09/2003	Turismo
NOM-126-SEMARNAT-2000 , Por la que se establecen las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional.	Establece especificaciones para actividades de colecta científica de flora y fauna silvestres y demás recursos biológicos en el territorio nacional.	30/01/2001	Biodiversidad
NOM-143-SEMARNAT-2003 , Que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos.	Establece especificaciones en materia ambiental para el manejo del agua congénita asociada a hidrocarburos y los límites máximos permisibles de los parámetros para su descarga a cuerpos receptores.	03/03/2005	Hidrocarburos
NOM-149-SEMARNAT-2006 , Que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación, mantenimiento y abandono de pozos petroleros en las zonas marinas mexicanas.	Establece especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las etapas de perforación, mantenimiento y abandono de pozos petroleros en zonas marinas mexicanas, para prevenir y mitigar impactos ambientales.	31/01/2007	Hidrocarburos

Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas en materia arrecifal.

Norma Oficial Mexicana	Objeto y campo de aplicación	Publicación	Materia
PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 , PROYECTO de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales para quedar como proyecto de modificación de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.	Establece límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales, para proteger, conservar y mejorar la calidad del agua y bienes nacionales.	05/01/2018	Contaminación
PROY-NOM-011-TUR-2018 , PROYECTO de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-TUR-2001, Requisitos de seguridad, información y operación que deben cumplir los prestadores de servicios turísticos de turismo de aventura para quedar como Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-011-TUR-2018, Requisitos mínimos de seguridad, información, operación, instalaciones y equipamiento que deben cumplir las operadoras de servicios turísticos de turismo de aventura/naturaleza.	Establece las especificaciones de seguridad, información, operación, instalaciones, equipamiento, protección y respeto a los recursos naturales y patrimonio cultural que requieren las operadoras de servicios turísticos de turismo de aventura/naturaleza. El presente Proyecto no será aplicable al buceo, actividades aéreas y recorridos acrobáticos en altura que no se realicen en entornos naturales.	04/05/2018	Turismo

para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.

La NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010; 2015), identifica las especies o poblaciones de fauna y flora en riesgo, mediante la integración de listados. Presenta los criterios de inclusión, cambio o exclusión de especies y poblaciones en las categorías de riesgo, mediante un método de evaluación de riesgo de extinción. Prevé las categorías de riesgo: Probablemente extinta en el medio silvestre (E), En peligro de extinción (P), Amenazadas (A) y Sujetas a protección especial (Pr).

En la lista de especies en riesgo hay dos especies de coral del género *Acropora* (*Acro-*

pora cervicornis y *Acropora palmata*), como sujetas a protección especial, por ser especies constructoras de arrecifes (Wallace y Willis, 1994; van Woesik y Done, 1997).

Sin embargo, por la importancia que revisten los ecosistemas arrecifales, la academia ha propuesto incorporar a *Fungia curvata*, *Pavona varians*, *Pocillopora damicornis*, *Pocillopora elegans*, *Pocillopora eydouxi*, *Pocillopora inflata*, *Porites sverdrupi*, *Psammocora obtusangula*, *Psammocora stellata* y *Psammocora superficialis*, por ser corales de importancia para la formación de arrecife en el Pacífico (Reyes-Bonilla, 2017).

En respuesta a estas propuestas la Secretaría considerará cuatro especies de coral y

16 especies de peces asociados a ecosistemas arrecifales (tabla 4), en la modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019).

La NOM-022-SEMARNAT-2003 (DOF, 2003), establece especificaciones para preservar, conservar, aprovechar sustentablemente los humedales costeros y prevenir su deterioro, fomentar su conservación y, en su caso, su restauración.

Define los humedales costeros como ecosistemas en zonas costeras de transición entre ambientes marinos y terrestres, cuya vegetación se caracteriza por ser halófito e hidrófito, estacional o permanente, que de-

penden de la circulación continua del agua. Los elementos de un humedal costero comprenden comunidades vegetales y zonas de inundación, cuya integridad está ligada a la propia dinámica hidrológica del humedal o funcionalmente asociada a ecosistemas costeros del mismo cuerpo de agua (laguna costera, estuario, delta, estero o bahía) o de la franja costera (pastos marinos y ecosistemas arrecifales), cuya productividad es significativa para el mantenimiento de las redes tróficas costeras y la dinámica poblacional de pelágicos marinos.

Señala que el manglar deberá preservarse como comunidad vegetal, por lo que en 1) la evaluación de las solicitudes en materia

Tabla 4. Especies arrecifales consideradas en la modificación de la Lista de especies en riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Espece propuesta	Grupo (Orden)	Categoría aceptada
<i>Mobula birostris</i>	Myliobatiformes	Protección especial
<i>Mobula hypostoma</i>		Protección especial
<i>Mobula mobular</i>		Protección especial
<i>Mobula munkiana</i>		Protección especial
<i>Mobula tarapacana</i>		Protección especial
<i>Mobula thurstoni</i>		Protección especial
<i>Scarus coelestinus</i>	Perciformes	Protección especial
<i>Scarus coeruleus</i>		Protección especial
<i>Scarus guacamaia</i>		Protección especial
<i>Scarus iseri</i>		Protección especial
<i>Scarus taeniopterus</i>		Protección especial
<i>Scarus vetula</i>		Protección especial
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>		Protección especial
<i>Sparisoma chrysopterus</i>		Protección especial
<i>Sparisoma rubripinne</i>		Protección especial
<i>Sparisoma viride</i>		Protección especial
<i>Orbicella annularis</i>	Scleractinia	Amenazada
<i>Orbicella faveolata</i>		
<i>Pocillopora inflata</i>		
<i>Porites sverdrupi</i>		En Peligro de extinción

de cambio de uso de suelo, 2) la autorización de aprovechamiento de la vida silvestre e 3) impacto ambiental, se deberán garantizar su integridad y las interacciones funcionales (conectividad) entre demás humedales (ríos (superficiales y subterráneos), dunas, zonas marinas adyacentes y arrecifes coralinos).

Prohíbe, entre otros aspectos, toda obra de canalización, interrupción de flujo o desvío de agua que ponga en riesgo la dinámica e integridad ecológica de los humedales costeros y señala que debe evitarse su degradación por contaminación y asolvamiento.

Política nacional que incide en la protección de ecosistemas arrecifales marinos

La Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas, es una Comisión permanente creada por acuerdo presidencial, cuyo objeto es coordinar las acciones de la administración pública federal para formular e instrumentar políticas nacionales para planear, ordenar y desarrollar sustentablemente los mares y costas de México (DOF, 2008).

Está integrada por los titulares de las Secretarías de Gobernación; Relaciones Exteriores; Marina; Desarrollo Social; Energía; Economía; Agricultura y Desarrollo Rural; Comunicaciones y Transportes; Turismo; y Medio Ambiente y Recursos Naturales (DOF, 2008).

Entre sus acciones, formuló la Política Nacional de Mares y Costas (PNMCM, 2011; 2015; DOF, 2018), además de la propuesta de la Estrategia Nacional de Atención a la Biodiversidad Marina y Costera de México, que continúa en proceso de creación, después de la conclusión del periodo de consulta pública en 2012; su relevancia es que los arrecifes son considerados como comunidades y ecosistemas marinos y costeros, sin embargo, sólo hacen una descripción básica de los arrecifes de coral

(ENABMCM, 2012).

Por otro lado, presenta una propuesta para promover el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) como una Zona Marina Especialmente Sensible (ZMES) junto con Belice, Guatemala y Honduras (Elgueta-Orellana, 2018).

Una ZMES debe ser objeto de protección especial, de acuerdo con las medidas que adopte la Organización Marítima Internacional, por su importancia en las características ecológicas, socioeconómicas o científicas reconocidas, mismas que pueden sufrir daños por las actividades marítimas internacionales (OMI, 2006).

Al no concretarse la propuesta para la Estrategia, se integraron propuestas de mejora a una nueva versión, documento que se envió a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad para su integración en la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México (ENBM) y plan de acción 2016-2030, donde se señaló la importancia y las principales presiones que sufren los ecosistemas arrecifales de coral entre demás ecosistemas costeros de México como manglares, pastos marinos y dunas (CONABIO, 2016a).

El segundo eje estratégico de la ENBM, Conservación y restauración (2.3. Restauración de ecosistemas degradados, apartado 2.3.3. Implementar, ampliar y fortalecer las acciones de rehabilitación y restauración de ecosistemas costeros, insulares, ribereños, acuáticos continentales y marinos de acuerdo a la importancia biológica y la condición de deterioro para lograr el restablecimiento de los servicios ecosistémicos que brindan), plantea diseñar e implementar planes incluyentes para restaurar zonas degradadas en hábitats críticos y ecosistemas vulnerables costeros y marinos, como arrecifes coralinos, para mantener la funcionalidad de sus ecosistemas (CONABIO, 2016a).

Su cuarto eje estratégico, Atención a los factores de presión (4.1. Prevención y reducción de la degradación y pérdida de los ecosistemas, apartado 4.1.4. Armonizar y generar nuevas políticas públicas existentes y sus respectivos programas de gasto y subsidios, a fin de garantizar la congruencia de las distintas iniciativas de la administración pública que tienen impacto en la degradación y pérdida de ecosistemas), hace énfasis en los ecosistemas más vulnerables al cambio climático y presiones antrópicas, como los ecosistemas arrecifales (CONABIO, 2016a).

En el mismo eje estratégico (4.6. Reducción de la vulnerabilidad de la biodiver-

sidad ante el cambio climático, apartado 4.6.4. Implementar acciones para la atención de los efectos de acidificación, el aumento del nivel del mar y el incremento de la temperatura del océano, para reducir la vulnerabilidad de la biodiversidad y las comunidades humanas ante el cambio climático), propone implementar estrategias específicas de conservación de arrecifes coralinos (CONABIO, 2016a).

Su sexto eje estratégico, Integración y gobernanza (6.1. Armonización e integración del marco jurídico, apartado 6.1.4. Identificar elementos que deben ser tratados de manera específica en las normas jurídicas que garanticen la conservación y la sustentabilidad en el uso de la biodiversidad, su recuperación y restauración), plantea desarrollar normas para la reducción de amenazas a la biodiversidad específicas por cada ecosistema vulnerable como los arrecifales (CONABIO, 2016a).

Finalmente, la meta nacional de la ENBM para el 2030, es haber reducido las amenazas a los ecosistemas, especies en riesgo y especies marinas prioritarias, en particular zonas con arrecifes, donde se realizarán actividades de manera sustentable y, asimismo, se contará con una Política Nacional de Manejo Integral de Humedales y una Estrategia Nacional para la atención de Arrecifes (CONABIO, 2016a).

Derecho internacional

México ha suscrito tratados internacionales que constituyen Ley Suprema (DOF, 1917) y ha participado en foros sobre conservación de biodiversidad, protección de ecosistemas y Derecho del mar (tablas 5 y 6).

La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar es un orden jurídico para mares y océanos que facilita la comunicación internacional para promover el uso, conservación, utilización equitativa y

Tabla 5. Tratados Internacionales signados por México que inciden en la protección de ecosistemas arrecifales.

Tratado	Año	Categoría	Publicado	Tema
Convención y Estatuto General sobre el Régimen Internacional de Puertos Marítimos.	1923	Multilateral	17/09/1935	Derecho del mar.
Convención Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena.	1946	Multilateral	06/12/1949	Medio ambiente.
Convención sobre el Mar Territorial y la Zona Contigua.	1958	Multilateral	05/10/1966	Derecho del mar.
Convención sobre la Plataforma Continental.	1958	Multilateral	16/12/1966	Derecho del mar.
Convención sobre Pesca y Conservación de los Recursos Vivos de la Alta Mar	1958	Multilateral	22/10/1966	Derecho del mar.
Convenio Internacional relativo a la Intervención en Alta Mar en Casos de Accidentes que Causen una Contaminación por Hidrocarburos,	1969	Multilateral	07/07/1976	Medio ambiente.
Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Convención de Ramsar).	1971	Multilateral	29/08/1986	Medio ambiente.
Convención para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural.	1972	Multilateral	02/05/1984	Patrimonio Cultural y Natural.
Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias.	1972	Multilateral	16/07/1975	Medio ambiente.
Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).	1973	Multilateral	06/03/1992	Medio ambiente.
Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques.	1973	Multilateral	08/07/1992	Medio ambiente.
Protocolo relativo a la Intervención en Alta Mar en Casos de Contaminación del Mar por Sustancias Distintas de los Hidrocarburos.	1973	Multilateral	19/05/1980	Medio ambiente
Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre la Contaminación del Medio Marino por Derrames de Hidrocarburos y Otras Sustancias Nocivas.	1980	Bilateral	18/05/1981	Medio ambiente.
Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.	1982	Multilateral	01/06/1983	Derecho del mar.
Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe y Protocolo relativo a la Cooperación para Combatir los Derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe.	1983	Multilateral	05/08/1985	Medio ambiente.
Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos.	1990	Multilateral	06/02/1995	Medio ambiente.

Tabla 6. Tratados Internacionales signados por México que inciden en la protección de ecosistemas arrecifales.

Tratado	Año	Categoría	Publicado	Tema
Convenio entre los Estados Unidos Mexicanos y Belice sobre la Protección y Mejoramiento del Ambiente y Conservación de los Recursos Naturales en la Zona Fronteriza.	1991	Bilateral	28/03/1996	Medio ambiente
Convenio sobre la Diversidad Biológica.	1992	Multilateral	07/05/1993	Medio ambiente
Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas.	1996	Multilateral	29/11/2000	Medio ambiente
Acuerdo sobre el Programa Internacional para la Conservación de los Delfines.	1998	Multilateral	17/05/1999	Medio ambiente
Convenio para el Establecimiento de la Zona de Turismo Sustentable del Caribe.	2001	Multilateral	05/12/2013	Comercio internacional y Desarrollo; Medio ambiente
Convenio Internacional para la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos.	2004	Multilateral	08/09/2017	Medio ambiente
Convenio de Minamata sobre el Mercurio.	2013	Multilateral	31/10/2017	Medio ambiente

eficiente de recursos; y el estudio, protección y preservación del ambiente marino. Incide en los ecosistemas arrecifales coralinos, su artículo 61 indica que se deben preservar los recursos vivos de la ZEE y sus artículos 192, 193, 194, 195, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216 y 222 señalan las medidas en materia de contaminación marina (UNCLOS, 1982).

La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, Convención Ramsar (Ramsar, 1971; DOF, 1986b), es un instrumento internacional que contempla la integridad de ecosistemas acuáticos y en ocasiones su porción terrestre (Ray y Hayden, 1992; Post y Lunding, 1996; Escofet, 2004a; 2004b; 2006; Espejel y Bermúdez, 2009; Milanés-Batista *et al.*, 2017; Ramsar, 2018). Define los humedales como superficies cubiertas de

agua, naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, saladas o salobres, cuya profundidad no exceda de seis metros (Ramsar, 1971; SCR, 2013; 2016). La sexta Conferencia de las Partes emitió la “Recomendación 6.7: Conservación y uso racional de los arrecifes de coral y ecosistemas asociados”, para considerar ecosistemas arrecifales coralinos como sitios Ramsar (Ramsar, 1996), lo que evidenció la necesidad global de reconocer su utilidad y valor (bienes y servicios); y la nacional de adquirir compromisos ambientales y cumplir con los instrumentos legales aplicables a los ecosistemas arrecifales (tabla 1).

México es segundo lugar mundial con 142 sitios, y sexto con 8 833 752 ha de superficie; los primeros sitios en considerar ecosistemas arrecifales fueron Sian Ka’an, los parques nacionales Isla Contoy y arreci-

fes de Xcalak (Quintana Roo) y Cuencas y corales de la zona costera de Huatulco (Oaxaca), que son parte de los 19 sitios Ramsar que consideran 238 ecosistemas arrecifales de México.

En el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (UNEP, 1992; DOF, 1993) se elaboró y ejecutó un plan de trabajo sobre blanqueamiento coralino con recomendaciones planteadas por expertos (UNEP, 1999), que promovió lineamientos para autoridades locales, tomadores de decisiones y demás interesados, sobre enfoques para el manejo de arrecifes degradados por blanqueamiento (Westmacott *et al.*, 2000; AIDA, 2014; 2015): 1) Identificar áreas arrecifales resistentes o capaces de recuperarse a eventos de estrés térmico; 2) considerar instrumentos de recuperación al decretar ANP; y 3) reducir factores de estrés (contaminación y sobrepesca).

Asimismo, estableció acciones prioritarias para lograr la meta 10 de Aichi que buscó reducir al mínimo las presiones antrópicas en arrecifes coralinos (UNEP, 2014): reducir los efectos de los factores de perturbación; mejorar la resiliencia de arrecifes coralinos; mantener medios de vida sustentable en comunidades costeras; aumentar la capacidad de los manejadores para predecir riesgos climáticos; e intensificar la cooperación internacional y regional para ejecutar acciones prioritarias nacionales.

Por otra parte, México cuenta con 35 sitios inscritos en la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, de los que Sian Ka'an (1987), el Santuario de Ballenas de El Vizcaíno (1993), las islas y áreas protegidas del golfo de California (2005) y el archipiélago de Revillagigedo (2016) son Bienes Naturales que consideran ecosistemas arrecifales (UNESCO, 1972; 2019) y resguardan espe-

cies amenazadas que tienen valor universal excepcional para la ciencia o la conservación, que reúnen condiciones de integridad y/o autenticidad y cuentan con un manejo que garantiza su salvaguardia (DOF, 1984; UNESCO, 2008).

La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), es un acuerdo internacional que vela por la protección de ciertas especies de fauna y flora silvestres contra su explotación excesiva mediante el comercio internacional, buscando preservar y aprovechar sustentablemente la biodiversidad incluida en sus tres apéndices (CITES, 1973; DOF, 1992c). De las aproximadamente 33 000 especies incluidas en la CITES, más de 2 000 están en México (Benítez-Díaz *et al.*, 2016), donde hay 53 especies asociadas a arrecifes coralinos del Atlántico y 29 del Pacífico mexicano (AIDA, 2014, 2015); su importancia es por la extracción de corales para artesanías, joyería, remedios tradicionales, material de construcción y como piedras vivas (Jordán-Dahlgren, 1993; Muñoz-Chagín y de la Cruz-Agüero, 1993; Vargas-Hernández *et al.*, 1993; Reyes-Bonilla, 1993; Sosa-Cordero *et al.*, 1993; Padilla, 2001; Horta-Puga, 2007; Jones *et al.*, 2008), por lo que el comercio de corales quedó regulado internacionalmente en la undécima Conferencia de las Partes de la CITES, donde se adoptó la resolución 11.10 *Trade in stony corals*, que recomendó mayor atención al autorizar la exportación de corales y la adopción de principios y prácticas ecosistémicas, por encima del control de las exportaciones (CITES, 2000).

Por otro lado, el Convenio para la protección y el desarrollo del medio marino en la región del Gran Caribe, único tratado ambiental legalmente vinculante para la

Región (UNEP, 1990, 2008, 2016), se suscribió para protegerse del desarrollo urbano que amenaza la zona costera, el medio marino, sus procesos y recursos (UNEP, 1983); presenta un plan de acción para derrames de hidrocarburos (DOF, 1985a, 1985b; UNEP, 2006) y otro para prevenir y controlar la contaminación marina de fuentes terrígenas (UNEP, 2000, 2006; AIDA, 2014,

2015). Destacó, que las partes deben tomar medidas para proteger y preservar los ecosistemas raros o vulnerables, hábitats y biodiversidad marina amenazados, diezmos o en peligro de extinción, al prevenir, reducir y controlar la contaminación por hidrocarburos, vertederos de desechos o descargas terrígenas y urbanas, entre demás fuentes (DOF, 1995; UNEP, 2006).

Programas y política internacionales

Desde la perspectiva de los programas internacionales, el Programa sobre el Hombre y la Biosfera es una selección de áreas representativas de diferentes hábitats, marinos y terrestres, denominadas Reservas de Biosfera reconocidas internacionalmente.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura registró 686 Reservas en 122 países; en México, de las 42 Reservas las de Sian Ka'an, El Vizcaino, Alto Golfo de California, Banco Chinchorro, Arrecife Alacranes,

Tabla 7. Programas, iniciativas y políticas que inciden en la protección de ecosistemas arrecifales de México.

Nombre	Año	Categoría
Programa el Hombre y la Biósfera (MAB-UNESCO).	1970	Internacional
Alianza Global de Arrecifes de Coral (GCRA).	1990	
Agenda 21.	1992	
Iniciativa Internacional de Arrecifes de Coral (ICRI).	1994	
Red Internacional de Acción de Arrecifes de Coral (ICRAN).	1994	
Corredor Biológico Mesoamericano .	1997	
Conservación y Uso Sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM).	2001	
Plan estratégico para la diversidad biológica 2011-2020 y las metas de Aichi.	2010	
Red Mundial de Monitoreo de los Arrecifes de Coral (GCRMN).	2012	
Iniciativa Mesoamericana de Rescate de Arrecifes.	2014	
Año Internacional del Arrecife (IYOR).	2018	
Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas.	2008	Nacional
Programa Nacional de Investigación Oceanográfica.	2016	
Política Nacional de Mares y Costas de México.	2018	

Huatulco, Sistema Arrecifal Veracruzano, Islas Marietas, Islas Mariás e Isla Cozumel consideran ecosistemas arrecifales (UNESCO, 2017).

Asimismo, México impulsó el Corredor Biológico Mesoamericano y el Proyecto para la Conservación y Uso Sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), como políticas regionales de gestión territorial (CCAD, 2003a, 2003b, 2005; CONABIO, 2016b), además, dentro de la Estrategia Regional Ambiental Marco 2015-2020 está la Iniciativa Mesoamericana de Rescate de Arrecifes (Nieto, 2017) que surgió por un Acuerdo de Cooperación Financiera entre Alemania y el Fondo SAM que será ejecutado por el Convenio Constitutivo de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, órgano del Sistema de la Integración Centroamericana (CCAD, 2012; CONABIO, 2016b; CCAD, 2016, 2017).

El SAM constituye la segunda barrera arrecifal coralina del mundo (~1 000 km) desde Isla Contoy, México, hasta la desembocadura del río Patuca, Honduras (Kramer y Kramer, 2002; Chollett *et al.*, 2017). Esta iniciativa de cooperación regional entre México, Belice, Guatemala y Honduras, es

sustentada por investigaciones realizadas en sus ecosistemas arrecifales coralinos (Almada-Villela *et al.*, 2002; Kramer y Kramer, 2002; Ruiz-Zárte y Arias-González, 2004; Agudelo, 2007; Ardisson *et al.*, 2011; MacKelworth, 2012).

Finalmente, la Iniciativa Internacional de Arrecifes de Coral (ICRI) se creó por la degradación coralina por presiones antrópicas, cuyos objetivos son impulsar la adopción de mejores prácticas de manejo de arrecifes coralinos y sus ecosistemas asociados, a través del Manejo Integrado Costero e incrementar el conocimiento sobre su importancia y la de sus servicios ecosistémicos (ICRI, 2013).

Para la aplicación del Marco de Acción de la ICRI, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y demás organizaciones formaron la Red Internacional de Acción para los Arrecifes de Coral y su Alianza para el Arrecife Mesoamericano (UNEP, 2001, 2005).

Conclusiones

El derecho ambiental se ha diseñado de manera limitada, sin considerar la complejidad de los ecosistemas costeros y marinos y sus procesos abióticos y bióticos, ni los vínculos entre el ambiente y el desarrollo (Brañes, 2004; Vázquez-García, 2004; Ramos-Campos, 2011). Esto es relevante al considerar que en su cumplimiento intervienen 13 secretarías federales, 17 secretarías ambientales estatales (una por cada Estado costero) y decenas de departamentos

de ecología y medio ambiente por Municipio costero (Mesta-Fernández, 2017).

En la actualidad, el Derecho aplicable a la zona costera en México enfrenta el reto de consolidar una gestión vinculada al desarrollo incluyente, integral y sustentable que dé respuesta a los cambios necesarios, asegurando escalas de manejo con base en indicadores ambientales, culturales, económicos y sociales, que sean relevantes para el país y sus comunidades (Mesta-Fernández, 2017).

Es evidente que México no considera al ambiente como una unidad prioritaria para dirigir e implementar una legislación ambiental (Vázquez-García, 2004); aún con la existencia de un ordenamiento como la LGEEPA, que se considera una ley propiamente ambiental con un enfoque holístico del ambiente.

Lo cierto es que cuando las leyes consideran al ambiente y sus procesos, lo hacen de manera aislada, fragmentada y parcial, lo que ocasiona que se evidencie una problemática ambiental y legal, que origina deficiencias en los instrumentos asociados a los ecosistemas arrecifales de México.

Como se ha visto, existe un sinnúmero de ordenamientos que de manera indirecta inciden en la protección de estos ecosistemas, no obstante, son pocos los que lo realizan de manera específica.

En la práctica, en el campo de acción, en el arrecife, son evidentes los vacíos legales que impiden una efectiva protección de estos ecosistemas, derivado de la multiplicidad de ordenamientos, confusión de competencias entre las autoridades responsables de aplicarlos, una débil actuación de las autoridades encargadas de ejecutar las normas de carácter sancionatorio y falta de continuidad en las políticas diseñadas para su conservación.

Recomendaciones para la toma de decisiones

Armonizar los instrumentos de manejo debería ser una práctica recurrente para obtener resultados de manejo óptimos, que consideren las características y amenazas de los ecosistemas arrecifales, con base en las necesidades y requerimientos de cada región arrecifal (Santander-Monsalvo *et al.*, 2018).

La coordinación de las acciones entre las autoridades, encargadas de velar por la ejecución de estos instrumentos, garantizaría resultados cuya eficacia y evaluación podrían ser medibles, espacial y temporalmente, para confirmar la efectividad de su aplicación o la necesidad de una modificación en su esquema de regulación.

En este quehacer es deseable la participación ciudadana y gubernamental (en su faceta de ente rector de la política a adoptar en materia de manejo de mares y costas, así como de ente que detenta el poder coercitivo del estado), para hacer cumplir sus nor-

mas, porque aunque el objetivo primordial sería prevenir la afectación de los ecosistemas arrecifales al implementar los instrumentos jurídicos analizados, las conductas irregulares y violatorias deben merecer sanciones ejemplares, apegadas a derecho, que actúen como agentes disuasivos que eviten y disminuyan su incidencia.

Por otra parte, se sugiere revisar la eficacia de los instrumentos analizados para identificar si el componente marino se encuentra debidamente incorporado. En el caso de las ANP, en el que este componente se encuentra diluido en categorías de manejo que de igual forma aplican a estos ambientes como a los terrestres, valdría la pena evaluar la necesidad y conveniencia de incorporar categorías de manejo que se ajusten específicamente a las características ecosistémicas y prácticas de uso directamente desarrolladas en ambientes marinos (costeros y oceánicos).

Literatura citada

- Agudelo, L., 2007. Mesoamerican Reef Alliance ICRAN-MAR Project. 360 p.
- Aguilera-Gómez M., F. Javier-Alejo, J.E. Navarrete, y R.C. Torres, 2014. Consideraciones sobre la Reforma de la Industria Petrolera en México. *Journal of Economic Literature*, 11(33): 110-137.
- Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA), 2014. La Protección de los Arrecifes de Coral en México. Rescatando la biodiversidad marina y sus beneficios para la humanidad. 39 pp.
- Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA), 2015. La Protección de los Arrecifes de Coral en México. Rescatando la biodiversidad marina y sus beneficios para la humanidad. 39 pp.
- Almada-Villela, P., M. Mcfield, P. Kramer, P. Richards-Kramer, y E. Arias-González, 2002. Status of Coral Reefs of Mesoamerica – Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and El Salvador, p. 303-324. En: C. Wilkinson (Ed.) Status of Coral Reefs of the World: 2002. Global Coral Reef Monitoring Network. Australian Institute of Marine Science. Queensland, Australia. 378 pp.
- Andréfouët S., y H.M. Guzman, 2005. Coral reef distribution, status y geomorphology-biodiversity relationship in Kuna Yala (San Blas) archipelago, *Caribbean Panama. Coral Reefs*, 24: 31-42.
- Ansell M.R., 1998. Oil baron of the Southwest: Edward L. Doheny and the development of the petroleum industry in California and Mexico. Ohio State University Press. Columbus, Ohio, USA. 302 pp.
- Ardisson, P.L., M.A. May-Kú, M.T. Herrera-Dorantes, y A. Arellano-Guillermo, 2011. El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. *Hidrobiológica*, 21(3): 261-280.
- Baker, A.C., P.W. Glynn, y B. Riegl, 2008. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future Outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80: 435-471.
- Bellgrove A., J. McKenzie, y H. Cameron, 2013. Implications of Future Climate for Rocky Reefs, p. 1-40. En: J. Klemke y H. Arundel (Eds.) Implications of Future Climate for Victoria's Marine Environment. Glenelg Hopkins Catchment Management Authority Australia.
- Benítez-Díaz H., L.M. Ortiz-Ortiz, y A. García-Naranjo Ortiz de la Huerta, 2016. Cooperación internacional en materia de biodiversidad, p. 219-244. En: CONABIO. (Ed.) Capital natural de México, Vol. IV: Capacidades humanas e institucionales. México, D.F. 568 p.
- Blanchon P., R. Iglesias-Prieto, E. Jordán Dahlgren, y S. Richards, 2010. Arrecifes de coral y cambio climático: vulnerabilidad de la zona costera del estado de Quintana Roo, p. 229-248. En: A. Vázquez-Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (Eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 pp.
- Brañes, R., 2000. Manual de Derecho Ambiental Mexicano. Fundación Mexicana para la Educación Ambiental – Fondo de Cultura Económica. México. 770 p.
- Brañes R., 2004. La fundación del derecho ambiental en América Latina. 198 pp.
- Calderón-Aguilera L.E., V.H. Rivera-Monroy, L. Porter-Bolland, A. Martínez-Yrizar, L.B. Lada, M. Martínez-Ramos, J. Alcocer, A.L. Santiago-Pérez, H.A. Hernández-Arana, V.M. Reyes-Gómez, D.R. Pérez-Salicrup, V. Díaz-Núñez, J. Sosa-Ramírez, J. Herrera-Silveira, y A. Búrquez. 2012. An assessment of natural y human disturbance effects on Mexican ecosystems: current trends y research gaps. *Biodiversity & Conservation*, 21: 589-617.
- Cárdenas-Solórzano, C., 2015. El petróleo hoy. *Economía UNAM*, 12(35): 100-105.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), 2003a. Proyecto para la conservación y uso sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Reporte de avance técnico y financiero. Reporte No. 5. 32 pp.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), 2003b. Proyecto para la conservación y uso sostenibles del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Diseño de la Red Regional de Comunicación de Datos del Proyecto SAM. Documento Técnico del SAM No. 8. 33 pp.

- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), 2005. Plan Ambiental de la Región Centroamericana PARCA. Aprobado por el Consejo de Ministros de la CCAD en su XL Reunión Ordinaria, celebrada en Managua el 28 de julio de 2005. 30 pp.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), 2012. Convenio Constitutivo de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). Propuesta de Reforma. Agosto de 2012.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), 2016. Iniciativa Mesoamericana para el Rescate de los Arrecifes. Convenio de Financiación: 201468594. Programa Operativo General 2016-2020. 26 pp.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), 2017. Iniciativa Mesoamericana de Rescate de Arrecifes. Acuerdo de financiamiento: 201468594. Plan de Operación Anual 2017. 48 pp.
- Chollett I., L. Garavelli, D. Holstein, L. Cherubin, S. Fulton, y S.J. Box, 2017. A case for redefining the boundaries of the Mesoamerican Reef Ecoregion. *Coral Reefs*. DOI 10.1007/s00338-017-1595-4.
- Cifuentes-Lemus J.L., P. Torres-García, y M. Frías. 2001. El océano y sus recursos. VIII. El aprovechamiento de los recursos del mar. La ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica, 168 pp.
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), 1973. Texto de la Convención. Sábado 3 de marzo de 1973.
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), 2000. Conf. 11.10. (Rev. CoP15) Comercio de Corales Pétreos.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2016a. Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y plan de acción 2016-2030. Gobierno de la República. México, D.F. 380 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2016b. ¿Qué es la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo? <http://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/ccad.html>
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1917. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917. Última reforma publicada el 06 de junio de 2019.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1976. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1976. Última reforma publicada el 14 de mayo de 2019.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1984. DECRETO de Promulgación del Convenio para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural adoptado en París el 23 de noviembre de 1972. Miércoles 2 de mayo de 1984.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1985a. DECRETO de Promulgación del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe y el Protocolo de Cooperación para combatir los derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe, adoptado en Cartagena de Indias, el 24 de marzo de 1983. Viernes 2 de agosto de 1985.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1985b. CONVENIO del protocolo relativo a la cooperación para combatir los derrames de hidrocarburos en la Región del Gran Caribe. Lunes 5 de agosto de 1985.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1986a. Ley Federal del Mar. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de enero de 1986.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1986b. DECRETO de Promulgación de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Habitat de Aves Acuáticas y el Protocolo que la Modifica, adoptadas en la ciudad de Ramsar y París, el 2 de febrero de 1971 y el 3 de diciembre de 1982. Viernes 29 de agosto de 1986.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada el 5 de junio de 2018.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1992a. Ley de Aguas Nacionales. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1992. Última reforma publicada el 24 de marzo de 2016.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1992b. Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la

- Federación el 1 de julio de 1992. Última reforma publicada el 15 de junio de 2018.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1992c. DECRETO promulgatorio de la convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres. Viernes 6 de marzo de 1992.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1993. DECRETO de promulgación del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Viernes 7 de mayo de 1993.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 1995. DECRETO de promulgación del Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos, 1990. Viernes 6 de febrero de 1995.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2000. Ley General de Vida Silvestre. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000. Última reforma publicada el 19 de enero de 2018.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2003. NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Jueves 10 de abril de 2003.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2004. Ley General de Bienes Nacionales. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 2004. Última reforma publicada el 19 de enero de 2018.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2006. Ley de Navegación y Comercio Marítimos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de junio de 2006. Última reforma publicada el 19 de diciembre de 2016.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2007. Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de julio de 2007. Última reforma publicada el 24 de abril de 2018.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2008. ACUERDO por el que se crea con carácter permanente la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. Viernes 13 de junio de 2008.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Jueves 30 de diciembre de 2010.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2012. Ley General de Cambio Climático. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012. Última reforma publicada el 13 de julio de 2018.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2013. Ley Federal de Responsabilidad Ambiental. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de junio de 2013.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2014a. NORMA Oficial Mexicana NOM-049-SAG/PESC-2014, Que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Lunes 14 de abril de 2014.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2014b. Ley de Vertimientos en las Zonas Marinas Mexicanas. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de enero de 2014.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2014c. Ley de Hidrocarburos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de agosto de 2014. Última reforma publicada el 15 de noviembre de 2016.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2015. PROYECTO de Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. Lunes 21 de diciembre de 2015.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016a. DECRETO por el que se establece la zona de salvaguarda denominada Arrecifes de Coral del Golfo de México y Caribe Mexicano. Miércoles 7 de diciembre de 2016.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016b. DECRETO por el que se establece la zona de salvaguarda denominada Plataforma de Yucatán y Caribe Mexicano. Miércoles 7 de diciembre de 2016.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016c. DECRETO por el que se establece la zona de salvaguarda denominada Golfo de California –

- Península de Baja California – Pacífico Sudcaliforniano. Miércoles 7 de diciembre de 2016.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016d. DECRETO por el que se establece la zona de salvaguarda denominada Manglares y Sitios Ramsar. Miércoles 7 de diciembre de 2016.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2018. ACUERDO mediante el cual se expide la Política Nacional de Mares y Costas de México. Viernes 30 de noviembre de 2018.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2019. RES-PUESTAS a los comentarios y modificaciones efectuadas al Proyecto de Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicado el 13 de agosto de 2018. Lunes 28 de octubre de 2019.
- Elgueta-Orellana, M., 2018. Áreas Marinas Protegidas y Zonas Marinas Especialmente Sensibles. *Revista Marina*, 96(2): 26-33.
- Estrategia Nacional de Atención a la Biodiversidad Marina y Costera de México (ENABMCM), 2012. Estrategia Nacional de Atención a la Biodiversidad Marina y Costera de México. 114 pp.
- Escofet A., 2004a. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera de México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. Tesis de doctorado en ciencias en Oceanografía Costera. Facultad de Ciencias Marinas-Instituto de Investigaciones Oceanológicas-Universidad Autónoma de Baja California. 260 p.
- Escofet A., 2004b. Marco operativo de macro y mesoescala para estudios de planeación de zona costera en el Pacífico mexicano, p. 223-234. En: E. Rivera-Arriaga, G.J. Villalobos-Zapata, I. Azuz-Adeath y F. Rosado-May (Eds.) El manejo costero en México. UCAM, SEMARNAT, CETYS, UQROO. México. 654 pp.
- Escofet A., 2006. Escalas jerárquicas anidadas, p. 87-102. En: A. Córdova y Vázquez, F. Rosete-Vergés, G. Enríquez-Hernández y B. Fernández de la Torre (Eds.) Ordenamiento ecológico marino, visión temática de la regionalización. SEMARNAT-INE. México. 226 pp.
- Espejel I., y R. Bermúdez, 2009. Propuesta metodológica para la regionalización de los mares mexicanos, p. 145-224. En: A. Córdova y Vázquez, F. Rosete-Vergés, G. Enríquez-Hernández y B. Fernández de la Torre (Eds.) Ordenamiento ecológico marino: visión integrada de la regionalización. SEMARNAT-INE, México. 232 p.
- Filbee-Dexter, K., y T. Wernberg, 2018. Rise of Turfs: A new battlefield for globally declining Kelp forests. *BioScience*, 68(2): 64-76.
- Harvell C.D., K. Kim, J.M. Burkholder, R.R. Colwell, P.R. Epstein, D.J. Grimes, E.E. Hoffmann, E.K. Lipp, A.D.M.E. Osterhaus, R.M. Overstreet, J.W. Porter, G.W. Smith, y G.R. Vasta. 1999. Emerging Marine Diseases: Climate Links and Anthropogenic Factors. Faculty Publications from the Harold W. Manter Laboratory of Parasitology. Paper 580.
- Hoegh-Guldberg, O., 1999. Climate Change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and freshwater research*, 50(8): 839-866.
- Horta-Puga, G., 2007. Environmental Impacts, p. 126-141. En: J. W. Tunnell Jr., E. A. Chávez y K. Withers (Eds.) Coral reefs of the southern Gulf of Mexico. Texas A&M University Press. 293 pp.
- International Coral Reef Initiative (ICRI), 2013. Organization and Management Procedures for the International Coral Reef Initiative (ICRI).
- Iglesias-Prieto R., H. Reyes-Bonilla, y R. Riosmena-Rodríguez, 2003. Effects of 1997-1998 ENSO on coral reef communities in the Gulf of California, Mexico. *Geofísica internacional*, 42(3): 467-471.
- Jones, J., K. Withers, y J.W. Tunnell Jr., 2008. Comparison of Benthic Communities on Six Coral Reefs in the Veracruz Reef System (Mexico). Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida.
- Jordán-Dahlgren, E., 1993. Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe mexicano. Parte I. El Sistema Continental. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México. 110 pp.
- Kramer, P.A., y P.R. Kramer, 2002. Ecoregional Conservation Planning for the Mesoamerican Caribbean Reef. Washington, D.C., World Wildlife Fund. 140 pp.
- Mackelworth, P., 2012. Peace parks and transboundary initiatives: implications for marine conservation and spatial planning. *Conservation Letters*, 5: 90-98.

- Merchand, M.A., 2015. Estado y Reforma Energética en México. *Revista Problemas del Desarrollo*, 183(46): 117-139.
- Mesta-Fernández M.E., 2017. Bases para el desarrollo de la legislación marino costera en México. *Elementos para Políticas Públicas*, 1(1): 63-76.
- Milanes-Batista C., A.Suárez, y C.M. Botero-Saltarén, 2017. Novel method to delimitate and demarcate coastal zone boundaries. *Ocean & Coastal Management*, 144: 105-119.
- Monaldi F., 2010. La Economía Política del Petróleo y el Gas en América Latina. *Working Paper*, 9: 1-30.
- Muñoz-Chagín R.F., y G. de la Cruz-Agüero, 1993. Corales del Arrecife de Akumal, Quintana Roo, p. 761-771. En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González. (Eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 865 p.
- Nieto S.E., 2017. La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo y su Agenda Estratégica. OMI (Organización Marítima Internacional). 2006. Directrices revisadas para la determinación y designación de Zonas Marinas Especialmente Sensibles. Lunes 6 de febrero de 2006.
- Ortiz-Lozano L., A. Granados-Barba, V. Solís-Weiss, y M.A. García-Salgado, 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean & Coastal Management*, 48: 161-176.
- Ortiz-Lozano L., I. Espejel, A. Granados-Barba, y P. Arceo, 2007. A functional and integrated approach of methods for the management of protected marine areas in the Mexican Coastal Zone. *Ocean & Coastal Management*, 50: 379-391.
- Ortiz-Lozano L., A. Granados-Barba, e I. Espejel. 2009. Ecosystemic zonification as a management tool for marine protected areas in the coastal zone: Applications for the Sistema Arrecifal Veracruzano National Park, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 52: 317-323.
- Padilla, C., 2001. El coral negro, un recurso en la profundidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Biodiversitas*, 39: 7-10.
- Parry M.L., O.F. Canziani, y J.P. Palutikof, 2007. Resumen Técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 100 p.
- Programa Nacional de Mares y Costas de México (PNMCM), 2011. Política Nacional de Mares y Costas de México. Gestión integral de las regiones más dinámicas del territorio nacional. Propuesta de la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CI-MARES). 65 pp.
- Programa Nacional de Mares y Costas de México (PNMCM), 2015. Política Nacional de Mares y Costas de México. Gestión integral de las regiones más dinámicas del territorio nacional. 81 p.
- Post J.C., y C.G. Lundin, 1996. Guidelines for Integrated Coastal Zone Management. Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series No. 9. The World Bank, Washington, D.C. 16 p.
- Rabasa-Kovacs T., 2013. Auges petroleros en México: sucesos fugaces. *Journal of Economic Literature*, 10(29): 35-55.
- Ramos-Campos, Q., 2011. La ZOFEMAT: una ficción legal. *Derecho Ambiental y Ecología*, 44(8): 37-39.
- Convención de Ramsar (Ramsar), 1971. Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Ramsar, Irán. 7 pp.
- Convención de Ramsar (Ramsar), 1996. Recomendación 6.7: Conservación y uso racional de los arrecifes de coral y ecosistemas asociados. 6ª Reunión de la Conferencia de las partes. Brisbane, Australia. http://archive.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-cops-cop6-recommendation-6-7/main/ramsar/1-31-58-129%5E23461_4000_2_
- Convención de Ramsar (Ramsar), 2018. Iniciativa Regional para la Conservación y Uso Racional de los Ecosistemas de Manglares y corales. http://ramsar.conanp.gob.mx/iniciativa_regional_de_manglares_y_corales/index.php
- Ray G.C., y B.P. Hayden, 1992. Coastal zones ecotones, p. 403-420. En: A.J. Hansen y F. di Castri (Eds). Landscape boundaries, consequences for biotic diversity and ecological flows. Springer-Verlag, New York. 452 p.
- Reyes-Bonilla, H., 1993. Biogeografía y Ecología de los Corales Hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico de México, p. 207-222. En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds.)

- Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 865 pp.
- Reyes-Bonilla H., 2017. Reunión técnica sobre la protección de arrecifes coralinos y rocosos en México. La situación en el Golfo de California. Senado de la República, LXIII Legislatura. 9 de mayo de 2017.
- Ruiz-Zárate, M.A., y J.E. Arias-González, 2004. Spatial study of juvenile corals in the Northern region of the Mesoamerican Barrier Reef System (MBRS). *Coral Reefs*, 23: 584-594.
- Santander-Monsalvo J., I. Espejel, y L. Ortiz-Lozano, 2018. Distribution, uses, and anthropic pressures on reef ecosystems of Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 165: 39-51.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (SCR), 2013. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6ª edición. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza. 116 pp.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (SCR), 2016. Manual de la Convención de Ramsar: Introducción a la Convención sobre los Humedales, 5ª edición. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza. 117 pp.
- Smith D.J., D.J. Suggett, y N.R. Baker, 2005. Is photoinhibition of zooxanthellae photosynthesis the primary cause of thermal bleaching in corals? *Global Change Biology* 11. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2004.00895.x
- Sosa-Cordero, E., A. Medina-Quej, A. Ramírez-González, M. Domínguez-Viveros, y W. Aguilar-Dávila, 1993. Invertebrados Marinos Explotados en Quintana Roo, p. 709-734. En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 865 p.
- United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), 1982. Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. 230 pp.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 1983. Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe. Cartagena de Indias, 24 de marzo de 1983.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 1990. Protocolo Relativo a las Áreas y Flora y Fauna Silvestres especialmente Protegidas del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la región del Gran Caribe. Naciones Unidas 1990. http://www.cep.unep.org/pubs/legislation/spaw_protocol_esp.html
- United Nations Environment Programme (UNEP), 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 1999. Expert Consulting on Coral Bleaching. Manila, 11-13 October 1999.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2000. Fuentes Terrestres de Contaminación Marina en la Región del Gran Caribe. Un protocolo para la acción.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2001. Red Internacional de Acción para los Arrecifes de Coral (ICRAN): Una Alianza Mundial para los Arrecifes de coral. Decimotercera Reunión del Comité de Supervisión sobre el Plan de Acción para el Programa Ambiental del Caribe y Reunión Especial de la Mesa Directiva de las Partes Contratantes del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe. San José, Costa Rica, del 9 al 13 de julio de 2001. 13 pp.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2005. La Alianza para el Arrecife Mesoamericano (MAR) de la Red Internacional de Acción para los Arrecifes Coralinos (ICRAN): estado de implementación y actividades planeadas. Tercera Reunión del Comité Asesor Científico y Técnico (STAC) del Protocolo Relativo a las Áreas y Flora y Fauna Silvestres Especialmente Protegidas (SPAW) en la Región del Gran Caribe. Caracas, Venezuela, 4 al 8 de octubre de 2005. 7 pp.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2006. Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe. Protocolo Relativo a la Cooperación para Combatir los Derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe. Protocolo Relativo a las Áreas y a la Flora y Fauna Silvestres Especialmente Protegidas. Protocolo Relativo a la Contaminación Procedente de fuentes y Actividades Terrestres. Programa Ambiental del Caribe. Kingston, 2006.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2008. Protocolo Relativo a las Áreas y Flora y Fauna Silvestres Especialmente Protegidas en la Región del Gran Caribe. El marco legal regional sobre biodiversidad.

- United Nations Environment Programme (UNEP), 2014. Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica en su 12ª Reunión. XII/23. Diversidad biológica marina y costera: Efectos en la diversidad biológica marina y costera del ruido submarino antropógeno y la acidificación de los océanos, acciones prioritarias para alcanzar la Meta 10 de Aichi para la Diversidad Biológica para los arrecifes de coral y ecosistemas estrechamente relacionados, y planificación espacial marina e iniciativas de capacitación.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2016. Protocolo Relativo a las Áreas y la Flora y Fauna Silvestres especialmente protegidas en la región del Gran Caribe. El marco jurídico regional para la biodiversidad.
- United Nations Organization for Education, Science and Culture (UNESCO), 1972. Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. 16 de noviembre de 1972. París, Francia.
- United Nations Organization for Education, Science and Culture (UNESCO), 2008. Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. Comité Intergubernamental de Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural. Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO. París, Francia. 166 pp.
- United Nations Organization for Education, Science and Culture (UNESCO), 2017. World Network of Biosphere Reserve (WNBR). <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/world-network-wnbr/>
- United Nations Organization for Education, Science and Culture (UNESCO), 2019. World Heritage List. <http://whc.unesco.org/en/list/>
- van Woesik R., y T.J. Done, 1997. Coral communities and reef growth in the southern Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 16: 103-115.
- Vargas-Hernández J.M., A. Hernández-Gutiérrez y L.F. Carrera-Parra, 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano, p. 559-575. En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González. (Eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 865 pp.
- Vázquez-García, A., 2004. La normatividad de las zonas costeras y marinas, p. 1007-1031. En: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra. (Eds.) Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología A.C. y Harte Research Institute for Gulf of Mexico. 1,108 pp.
- Wallace C.C., y B.L. Willis, 1994. Systematics of the coral genus *Acropora*: Implications of new biological finding for species concepts. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 25: 237-262.
- Westmacott S., K. Teleki, S. Wells, y J. West, 2000. Management of Bleached and Severely Damaged Coral Reefs. International Union for Conservation of Nature. Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom. 36 p.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Energía limpia y uso del suelo en las costas mexicanas: escenarios y costo de oportunidad

C. Vázquez-González, P. Moreno-Casasola y O. Jiménez Orocio

Resumen

A partir del 2014 inició en México el proceso de transición de la generación de energía eléctrica basada en fuentes tradicionales y convencionales hacia las llamadas “energías limpias”, específicamente, la generación eólica y la de sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, la “energía limpia” –en términos de las emisiones de carbono–, supone la modificación del uso de suelo de grandes extensiones y la alteración de la vegetación, tanto en las zonas con mejores condiciones de irradiación solar como de viento para el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica. Mientras las zonas costeras del país proporcionan el ambiente ideal por sus fuertes y constantes vientos, las zonas áridas son atractivas para los sistemas fotovoltaicos por la falta de nubosidad. Los cuatro escenarios proyectados por el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL) muestra que los humedales de agua dulce, los manglares y las dunas costeras se encuentran amenazados debido a la probabi-

lidad de desarrollos de proyectos de infraestructura eléctrica sobre su superficie. El objetivo del presente capítulo es identificar la superficie amenazada de estos ecosistemas por el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos y eólicos, y de esta forma, obtener el valor monetario de la pérdida de servicios ecosistémicos y el costo de oportunidad entre los servicios ecosistémicos y la reducción de emisiones por la generación de energía eléctrica a partir de procesos “limpios”. Se construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para cuantificar la superficie de humedales, de manglares y de dunas costeras amenazados y se estimó el costo de oportunidad entre la disminución por emisiones de carbono y la conservación de los servicios ecosistémicos. Los resultados muestran que los objetivos trazados por la política energética, así como las necesidades y la demanda de energía deben ser visualizados en el contexto de las limitaciones ambientales, con el fin de considerar los impactos absolutos sobre el cambio de uso del suelo de los proyectos de infraestructura eléctrica, además de considerar el costo de oportunidad a partir de los servicios que pierde la sociedad en general y en particular –la local– por la disminución de la cobertura vegetal o la alteración del funcionamiento de los ecosistemas costeros.

Palabras clave: carbono evitado, dunas costeras, humedales costeros, manglares, servicios ecosistémicos, sistemas eólicos, sistemas fotovoltaicos.

Introducción

En el 2013 se aprobó la reforma energética, la cual, entre otras generalidades, dio paso a un nuevo marco regulatorio sobre la base de la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) y sus leyes y reglamentos secundarios (DOF, 2014a) con la finalidad de permitir al sector privado generar energía eléctrica en México para su venta y comercialización a través del mercado eléctrico mayorista (MEM), entre otros esquemas. Para dar un sustento ambiental-global al nuevo marco regulatorio y al esquema de generación de energía eléctrica, el 24 de diciembre del 2015 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Transición Energética (DOF, 2015), la cual tiene como objetivo “regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad

de los sectores productivos”, es decir, generar las bases para que los consumidores de energía eléctrica lo hagan conforme a nuevas exigencias, las cuales marcan un consumo mínimo de energía “limpia o renovable”, tal y como lo señaló la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (DOF, 2013), e incrementar el porcentaje de energías limpias en la matriz energética a 25 % en 2018, 35 % en 2024, 40 % en 2035 y 50 % en 2050 (DOF, 2012, 2013).

Bajo el esquema regulatorio actual, a partir del 2014 se inició formalmente el desarrollo de los estudios para la construcción de los parques eólicos y las granjas solares (sistemas fotovoltaicos). Con base en la LIE publicada en el DOF (2014), cuando la capacidad de generación instalada es igual o mayor que 0.5 MW, deben cumplir con

requisitos como: la obtención del resolutive favorable de la Evaluación de Impacto Social (DOF, 2018) por parte de la Secretaría de Energía (SENER), el permiso de generación de energía eléctrica ante la Comisión Reguladora de Energía (CRE) (DOF, 2014a) y los estudios de interconexión ante el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) (DOF, 2014a). Además, debe realizar la manifestación de impacto ambiental (MIA) para presentarla ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Cámara-de-Diputados, 2014) y en algunos casos, la aprobación del estudio técnico justificativo (ETJ) para obtener la autorización del cambio de uso de suelo forestal por parte de la SEMARNAT (Cámara-de-Diputados, 2013).

Como parte de la apertura que implicó el nuevo marco regulatorio en materia de generación de energía eléctrica, fue construir el aparato legal e institucional para asegurar el principio de no discriminación y competencia perfecta entre los participantes del mercado actual energético. Como parte de estas acciones, la Secretaría de Energía (SENER) generó el instrumento conocido como el AZEL, el cual muestra escenarios en el corto, mediano y largo plazo para el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos y eólicos. Sin embargo, a pesar de integrar capas de información como las zonas de manglares, de humedales, de sitios Ramsar y de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), el AZEL determinó escenarios a corto, mediano y largo plazo para el desarrollo de los proyectos eólicos y solares sin considerar dichas zonas como una restricción para determinar las zonas con mayor potencial. Más importante aún, no integró capas con la información de dunas costeras, las cuales son ecosistemas de suma impor-

tancia debido a los servicios ecosistémicos que proveen tal como la protección contra tormentas (Martínez *et al.*, 2014; Espejel *et al.*, 2016), el mantenimiento de las playas (Mendoza-González *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2014), entre otros.

Lo anterior genera incertidumbre sobre la incorporación de las limitaciones ecológicas para el desarrollo de los proyectos de generación de energías “limpias”. Si bien es cierto, la necesidad de generación de energía eléctrica con base en cifras del Balance Nacional de Energía mostrado por la SENER (2017), es innegable, sobre todo cuando se trata de sistemas de generación “limpios”; sin embargo, es necesario analizar las restricciones ambientales y tener un panorama global integral antes de iniciar proyectos específicos. El no considerar al 100 % los humedales, los manglares y las dunas costeras como restricciones, genera la necesidad de realizar un balance del costo de oportunidad entre: 1) los proyectos fotovoltaicos y eólicos para generar energía y reducir las emisiones de carbono y, 2) conservar los servicios ecosistémicos de los humedales, los manglares y las dunas costeras valorados por Vázquez-González *et al.* (2016).

Por lo anterior, el presente capítulo tiene como objetivo identificar los ecosistemas de humedales de agua dulce, manglares y dunas costeras amenazados por el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos y eólicos, debido a la instalación de la infraestructura de generación, de transmisión y de transformación de la energía eléctrica, y de esta forma, describir los probables costos por la pérdida de los servicios ecosistémicos. Esto tiene gran importancia en un país con más de 11 000 kilómetros de costa (Moreno-Casasola, 2016a, 2016b),

con ciudades costeras en crecimiento y escenarios actuales de huracanes y que por el cambio climático cobrarán mayor intensidad, situación que hace que los ecosiste-

mas costeros tengan un gran valor por su capacidad de protección contra tormentas (Vázquez-González *et al.*, 2019).

Descripción de los escenarios de generación de energía eléctrica

Restricciones en materia de la Red Nacional de Transmisión (RNT)

Con base en la información del azel, se construyó la tabla 1, la cual muestra los cuatro escenarios en función de su cercanía a la RNT. El escenario uno está enfocado en identificar zonas con alto potencial para el desarrollo de proyectos para la generación de energía eléctrica sin considerar la cercanía a la RNT, generalmente las líneas de 115, de 230 y de 400 kV (CENACE, 2018). Por tal motivo, el escenario uno se considera general y con poco nivel de detalle. El escenario dos identifica las zonas que se encuentran medianamente cerca de la RNT. Por esto, el escenario dos se considera como un potencial desarrollo en el mediano plazo. El escenario tres, está enfocado en identificar zonas para el desarrollo de proyectos con una tensión igual o mayor que los 69

kV, y pone restricciones en la cercanía a la RNT: 1) proyectos solares; ≤ 2 km y 2) proyectos eólicos; ≤ 10 km. Por esta razón, el escenario tres es el más atractivo en términos económicos –en el corto plazo–, ya que su desarrollo se encuentra prácticamente sobre la RNT y cercano a las subestaciones eléctricas, lo que implica un abatimiento sustantivo en los costos de las actividades previas (desarrollo del proyecto), así como en los costos de construcción de la planta de generación y en las obras asociadas –líneas de transmisión y subestaciones de maniobras– (CENACE, 2018). Mientras que el escenario cuatro, es considerado el escenario a largo plazo, el cual se construyó con base en la proyección del crecimiento de la RNT con base en el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) (SENER, 2018).

Tabla 1. Escenarios con alto potencial de generación de energía eléctrica con base en la cercanía a la Red Nacional de Transmisión (RNT).

Tipo de generación	Escenarios con alto potencial de generación de energía eléctrica			
	A1	A2	A3	A4
Fotovoltaico.	N/A	≤ 20	≤ 2	> 20
Eólico.	N/A	≤ 20	≤ 10	> 20

Fuente. AZEL (ver <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>).

Nota 1. Las distancias están expresadas en km.

Nota 2. N/A; no aplica la restricción.

Escenario: restricciones en materia de la capacidad instalable y el potencial del recurso

Los escenarios del sistema AZEL, también consideran aspectos como el potencial del recurso para la generación. La tabla 2 muestra que el escenario uno está diseñado para plantas de generación iguales o mayores que 10 MW, mientras que el escenario

dos considera las plantas de generación iguales o mayores que 50 MW. Por último, los escenarios tres y cuatro consideran las plantas de generación mayores o iguales que 100 MW. Tanto en el aspecto a la cercanía de la RNT como en el potencial de recurso para la generación, el escenario tres es el más atractivo –en términos económicos– en el corto plazo para el desarrollo de dichos proyectos.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

México es un país con una superficie continental de 1.96 millones de km² (Moreno-Casasola, 2016b) y su población actual es de 119.9 millones de habitantes (INEGI, 2018). Es un país con más de 11 000 kilómetros de línea de costa, 7 828 km de línea costera con el océano Pacífico y 3 294 km con el golfo de México y el mar del Caribe (Vázquez-González *et al.*, 2019). En 2010, las ciudades costeras tuvieron una población de 18 millones de habitantes y tienen un crecimiento esperado para el 2030 del 39 %. Este escenario, así como la demanda de bienes y servicios, han presionado hacia

un aumento en el consumo de la energía eléctrica (SENER, 2017), desde las necesidades básicas hasta las actividades económicas en los sectores primario, secundario y terciario (SENER, 2018).

El crecimiento de la población, el aumento de la demanda generalizada de la energía eléctrica y la situación de los escenarios actuales de cambio climático, ponen sobre la mesa la necesidad de construir nuevas plantas de generación de energía eléctrica bajo la restricción del acuerdo de París en Naciones Unidas (2015). Éste insta a los gobiernos a fomentar y cumplir con la reducción de emisiones de carbono a la at-

Tabla 2. Escenarios para el desarrollo de proyectos de generación de energía con base en la capacidad instalable en MW.

Tipo de generación	Recurso	Escenarios por la capacidad instalable en MW			
		A1	A2	A3	A4
Solar.	Irradiación global horizontal.	≥ 10	≥ 50	≥ 100	≥ 100
Eólica.	Velocidad del viento.	≥ 10	≥ 50	≥ 100	≥ 100

Fuente. AZEL (ver <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>).

mósfera a través del aumento gradual de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes “limpias” como los sistemas fotovoltaicos y eólicos, y de la conversión hacia energías limpias de las plantas que actualmente utilizan combustible de origen fósil. En este sentido, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC-SEMARNAT) ha establecido como políticas la adaptación con base en ecosistemas (www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/adaptacion-al-cambio-climatico-78748) con el objetivo de garantizar la conservación de los ecosistemas costeros, entre ellos, los depósitos de carbono para poder cumplir con los compromisos mexicanos en el acuerdo de París en Naciones Unidas (2015).

A pesar del nuevo marco regulatorio, los instrumentos de acceso público como el sistema AZEL, muestran que parte de la superficie determinada en los escenarios de corto, de mediano y de largo plazo para la generación de energía eléctrica “limpia”, no consideran las restricciones ecológicas que imponen los ecosistemas como los humedales identificados por el Inventario Nacional de Humedales (CONAGUA, 2013), los manglares (CONABIO, 2006) y las dunas costeras en México (Martínez *et al.*, 2014).

Descripción de la información utilizada

Cobertura de humedales, de manglares y de dunas costeras en México

Con base en la información del Inventario Nacional de Humedales en CONAGUA (2013), la tabla 3 y las figuras 1a, b y c, muestran que los humedales tienen una cobertura de 9.3 millones de ha de los humedales costeros y continentales, ya que a la superficie total de humedales que reportan se le restó la superficie de manglares dada por la CONABIO (2006).

De acuerdo con la CONABIO (2006), los manglares tienen una cobertura de 0.78 millones de ha en México. Cabe señalar que la CONAGUA (2013) realizó una clasificación incluyendo los humedales creados, los fluviales, los lacustres, los palustres y los estuarinos, es decir, no incorpora aspectos estrictos por tipo de vegetación, excepto en los manglares clasificados como estuarinos. Cabe decir que probablemente este valor se encuentre sobrestimado debido a la problemática de diferenciar en imágenes satelitales los humedales herbáceos de los potreros inundables. En el caso de las dunas costeras, la superficie es de 0.81 millones de ha (Martínez *et al.*, 2014).

Tabla 3. Superficie de humedales, manglares y dunas costeras en México.

Tipo de ecosistema	Superficie en millones de ha
Humedales*	9.26
Manglares**	0.78
Dunas costeras***	0.81

*Considera todos los humedales en México con base en el Inventario Nacional de Humedales. Tomado de la CONAGUA (2013).
 **Considera todos los manglares en México. Tomado de la CONABIO (2015).
 ***Considera las dunas costeras determinadas por Martínez et al. (2014).

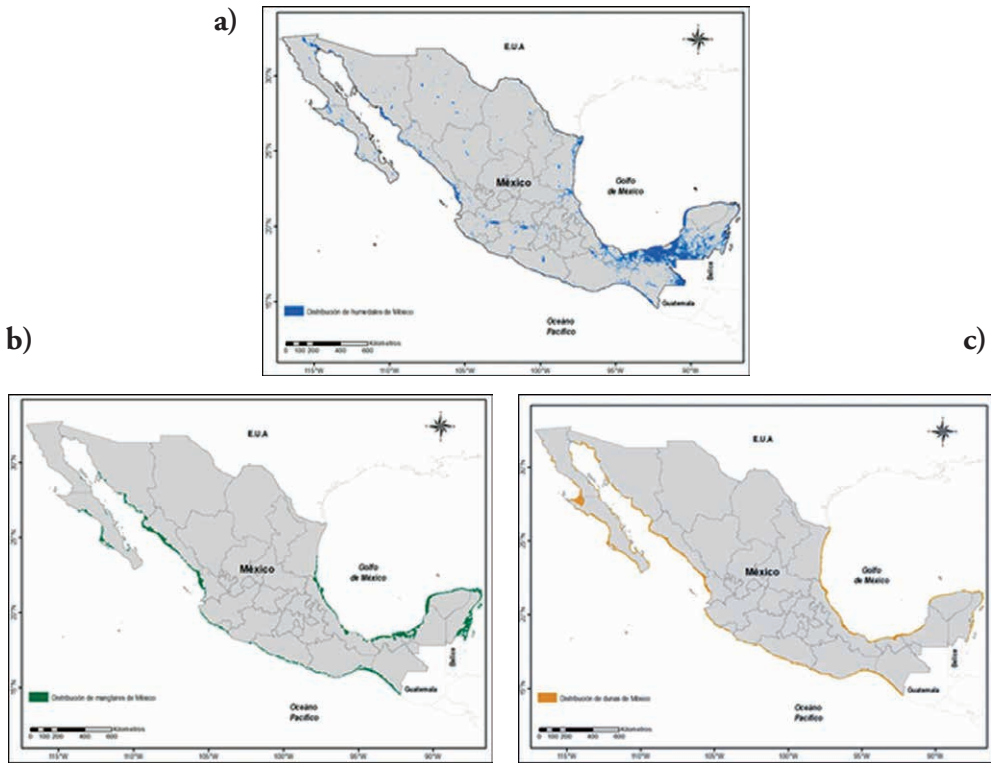


Figura 1. Cobertura de los ecosistemas en México. a) Distribución de los humedales en México. b) Distribución de los manglares en México. c) Distribución de las dunas costeras en México.

Servicios ecosistémicos de los humedales costeros de agua dulce, manglares y dunas costeras

Espejel *et al.* (2016) identificaron y describieron los servicios ecosistémicos que brindan los manglares, los humedales y las dunas costeras; sin embargo, se tomaron solamente los valores económicos estimados por Vázquez-González *et al.* (2016) debido a que fueron obtenidos en casos de estudio particulares en diferentes zonas de México.

Además, son el resultado de mediciones puntuales, a diferencia de estudios que utilizan el método de transferencia de beneficios económicos. De esta forma, la tabla 4 muestra los valores monetarios estimados para los servicios ecosistémicos de los manglares, humedales arbóreos de agua dulce (selvas inundables y palmar inundable), humedales herbáceos de agua dulce (popales y tulares), del palmar inundable, de los potreros inundables y de las dunas costeras.

Tabla 4. Valor monetario de los servicios ecosistémicos por tipo de vegetación y ecosistema.

Servicio ecosistémico	Manglar	Popal	Tular	Selva inundable	Palmar inundable	Potrero inundable	Dunas costeras
Control y/o reducción de inundaciones.	193 674	190 863	190 863	154 438	91 798	148 277	67 874*
Extracción y aprovechamiento de maderas.	9 551			19 824		2 601	
Almacenamiento y oferta de agua.	5 208	7 948	4 751	8 222			
Pesca ribereña.	18 849	5 394	2 401	5 066	825		
Cultivo de caña de azúcar.		3 420	3 420	3 420	3 420	2 187	
Reducción de emisiones de carbono.	1 149	1 570	1 036	1 651			751**
Cría de ganado.	345	345	345	345	345	320	
Pago por conservación de humedales costeros.	26	26	26	26	26		
Materiales para construcción de casas.						4 375	
Plantas medicinales.						739	
Conectividad / restauración propia del ecosistema.							10 315
Información /ciencia y academia.							846
Valor económico total.	228 802	209 567	202 842	192 993	96 415	158 500	79 786

Fuente: todos los valores fueron tomados de Vázquez-González *et al.* (2016), excepto los valores de control de inundaciones del manglar, del popal y tular y de los potreros inundables, los cuales fueron obtenidos de Vázquez-González *et al.* (2019). Todos los valores económicos están expresados en \$USD/ha/2007, en el caso del valor económico total, el cual representa la sumatoria, está expresado en \$USD/2007.

Estimación del costo de oportunidad entre las energías “limpias” y la conservación de los humedales, manglares y dunas costeras

Construcción del SIG

Se estimó la superficie total de los escenarios generados por el AZEL (ver <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>) en materia de potencial de generación de energía eléctrica para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos y eólicos. Se construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con la finalidad de

interseccionar las capas de información de los cuatros escenarios generados por el AZEL (figuras 2a y b) con las siguientes capas de información geográfica: 1) Inventario Nacional de Humedales de la CONAGUA (2013) (figura 1a), 2) cobertura de los manglares en México de la CONABIO (2015) (figura 1b) y 3) la cobertura de dunas costeras de México en Martínez *et al.* (2014) (figura 1c). y de esta forma se obtuvo la superficie de humedales, manglares y dunas costeras que se encuentran amenazados por los diferentes escenarios generados en el sistema AZEL.

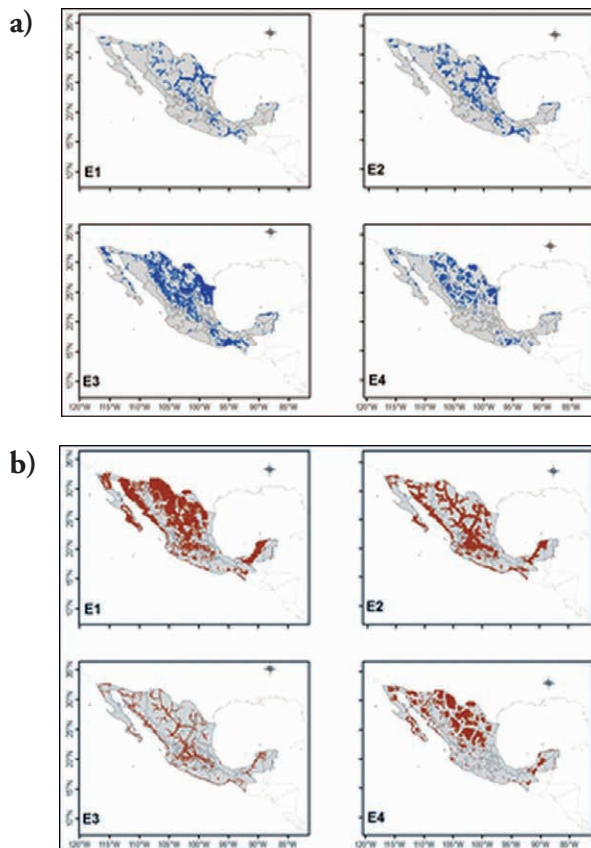


Figura 2. Superficie de los escenarios con potencial de generación de energía eléctrica en México. a) Sistemas fotovoltaicos. b) Sistemas eólicos. La superficie mostrada en los escenarios del AZEL corresponde a mayor cantidad de los sitios que los ecosistemas mencionados debido a que se construyó en función de las mejores características técnicas y económicas para el desarrollo de los proyectos energéticos a lo largo del territorio mexicano.

**Beneficios de las energías “limpias”:
carbono evitado**

Este análisis se enfoca en determinar de forma general el beneficio de la generación fotovoltaica y eólica en función de la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por tal motivo se utilizó la información disponible en el AZEL, la cual se muestra en la tabla 5 para cada uno de los escenarios proyectados por el AZEL en el caso de la generación de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos.

En la tabla 6 se muestra para cada uno de los escenarios proyectados por el AZEL para el caso de los sistemas eólicos, las emisiones de CO₂ evitadas por cada MW/h generado. A pesar de que tanto la tabla 5 como la tabla 6 muestran la misma cantidad de CO₂ evitable por MW/h generado, el costo de oportunidad real se estima con base en el siguiente apartado.

Costo de oportunidad real: carbono evitado por energías limpias vs carbono en el suelo de los ecosistemas

Para estimar el costo de oportunidad real entre el carbono evitado por las energías limpias y el carbono contenido en el suelo de los ecosistemas, se utilizó la siguiente información:

- Superficie perdida de los humedales, manglares y dunas costeras por el desarrollo de los proyectos fotovoltaicos y eólicos en cada uno de sus escenarios obtenido mediante la intersección de las capas de información en el SIG.
- Los valores de las tablas 5 y 6 para mostrar la capacidad instalable MW en México en cada uno de los escenarios de los sistemas fotovoltaicos y eólicos.
- En ambos casos (fotovoltaicos y eólicos) se utilizó el valor de 2.2 t/MW/h generado.

Tabla 5. Sistemas fotovoltaicos: capacidad instalable, potencial de generación, emisiones de CO₂ evitables y emisiones de CO₂ evitables por MW/h generado para cada escenario proyectado por el AZEL.

Escenarios	Capacidad instalable (MW)	Potencial de generación (MWh/a)	Emisiones de CO ₂ evitables (t/a)	Emisiones de CO ₂ evitables (t/MWh)
A1	1 171 881	2 121 803 000	963 299 000	2.2
A2	639 420	1 115 840 000	506 592 000	2.2
A3	139 000	252 545 000	114 656 000	2.2
A4	462 279	837 560 000	380 252 000	2.2

Tabla 6. Sistemas eólicos: capacidad instalable, potencial de generación, emisiones de CO₂ evitables y emisiones de CO₂ evitables por MW/h generado para cada escenario proyectado por el AZEL.

Escenarios	Capacidad instalable (MW)	Potencial de generación (MWh/a)	Emisiones de CO ₂ evitables (t/a)	Emisiones de CO ₂ evitables (t/MWh)
A1	583 200	1 486 713 000	674 967 000	2.2
A2	290 249	740 332 000	336 111 000	2.2
A3	158 302	402 847 000	182 892 000	2.2
A4	297 444	750 186 000	340 584 000	2.2

- En el caso de los sistemas fotovoltaicos se asumió un cambio de uso del suelo y de la vegetación de 300 ha/100MW, mientras que los sistemas eólicos tienen un cambio de uso del suelo y de la vegetación de 282 ha/100 MW. Estos parámetros fueron obtenidos con en la información del AZEL (ver <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>).
 - Los valores utilizados de carbono contenido en el suelo de humedales de agua dulce y manglares fueron 630.6 t/ha y 410 t/ha, respectivamente, los cuales fueron tomados de Vázquez-González *et al.* (2016). Cabe decir que estos valores para los humedales de agua dulce, corresponden a humedales costeros, pues no hay información para los humedales continentales. Para el caso de las dunas costeras, se tomaron los valores de carbono orgánico contenido en la vegetación de 267.5 t/ha, los cuales fueron estimados por Li *et al.* (2012).
- Costo de oportunidad total: carbono evitado por la generación de energías “limpias” vs el valor monetario de los ecosistemas**
- Además del costo de oportunidad entre el carbono evitado por la generación de energías “limpias”, el presente capítulo estimó el costo de oportunidad total, que presenta el valor monetario al que se renuncia por el cambio de uso del suelo y de la vegetación de los humedales, manglares y dunas costeras con la finalidad de desarrollar proyectos fotovoltaicos y eólicos. Para estimar el costo de oportunidad total, se realizaron los siguientes puntos:
- Se obtuvo el valor monetario por hectárea de humedal, manglar y duna costera con base en la información de los servicios ecosistémicos mostrados en la tabla 4.
 - Se estimó el valor monetario por hectárea de humedal, manglar y duna costera con base en el valor del carbono evitado si se desarrollan los proyectos de energía eléctrica. Este valor se obtuvo con base en la información del precio de los Certificados de Energía Limpia (CEL) en la última subasta energética (ver <https://www.gob.mx/sener>), que fue de \$20.57 USD/CEL.
 - Se dividió el valor monetario por carbono evitado/el valor monetario por servicios ecosistémicos.

Resultados

Superficie amenazada de humedales, manglares y dunas costeras

La tabla 7 muestra los resultados de la superficie total en riesgo por tipo de ecosistema debido al desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica a través

de sistemas fotovoltaicos. Como se puede observar, en términos absolutos, el escenario uno es el que pone en riesgo mayor superficie de humedales, manglares y dunas costeras; sin embargo, este escenario no considera restricciones como la cercanía a la RNT, por tal motivo, son zonas que serán

Tabla 7. Superficie total en riesgo por tipo de ecosistema con base en la superficie de los escenarios de desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos.

Escenarios Solar	Superficie en riesgo por tipo de ecosistema (ha)		
	Humedales	Manglares	Dunas costeras
A1	1 808 516	45 700	134 067
A2	1 370 621	30 853	95 552
A3	240,303	4 496	12 859
A4	593 184	33 093	60 526

A1; escenario sin restricciones por la cercanía a la RNT.
A2; escenario en el mediano plazo.
A3; escenario en el corto plazo.
A4; escenario en el largo plazo, debido a las nuevas obras de infraestructura de la RNT.

desarrolladas en el mediano o largo plazo, tal y como sucede con los escenarios dos y cuatro, respectivamente. Por esta razón, el escenario tres debe ser considerado como el más factible en el corto plazo, debido a la cercanía a la RNT.

La tabla 8 muestra los resultados de la superficie total en riesgo por tipo de ecosistema debido al desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica a través de sistemas eólicos. Como se puede observar, en términos absolutos, el escenario tres es el que pone en riesgo mayor superficie de humedales y dunas costeras. En el caso de los manglares, el escenario dos es el que tiene mayor proyección sobre su superficie.

Con base en las figuras 3a y b, los escenarios A1 y A2 de la generación de energía a través de sistema fotovoltaicos, son los que implican mayor riesgo debido al cambio de uso del suelo para su desarrollo. Sin embargo, en el caso del escenario A1, es una situación que no contempla restricciones por cercanía a la RNT, por lo cual, la mayor parte de su superficie es poco rentable en términos económicos. En términos porcentuales, los humedales son el tipo de ecosistema que se encuentra mayormente

amenazado por el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos, al igual que las dunas costeras.

Costo de oportunidad entre el carbono evitado por los proyectos de generación y el carbono perdido por el cambio de uso del suelo de los humedales, manglares y dunas costeras

La figura 4 y la tabla 9 muestran el costo de oportunidad entre intentar reducir las emisiones de carbono a través de la generación de energías “limpias” y conservar los humedales, los manglares y las dunas costeras. Bajo los supuestos de los análisis del costo de oportunidad (CO): i) si $CO < 1$; es negativo (renuncias más, por lo que consigues), ii) si $CO = 1$; es indiferente (renuncias y consigues lo mismo) y iii) si $CO > 1$; es positivo (renuncias menos de lo que consigues). Bajo este razonamiento, los resultados muestran que ambos sistemas de generación tienen un costo de oportunidad negativo, en donde los sistemas fotovoltaici-

Tabla 8. Superficie total amenazada por tipo de ecosistema con base en la superficie de los escenarios de desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a través de sistemas eólicos.

Escenarios Eólicos	Superficie amenazada por tipo de ecosistema (ha)		
	Humedales	Manglares	Dunas costeras
A1	122 724	18 575	17 938
A2	216 719	36 680	27 853
A3	313 000	20 309	35 166
A4	109 236	10 726	13 216

A1; escenario sin restricciones por la cercanía a la RNT.

A2; escenario en el mediano plazo.

A3; escenario en el corto plazo.

A4; escenario en el largo plazo, debido a las nuevas obras de infraestructura de la RNT.

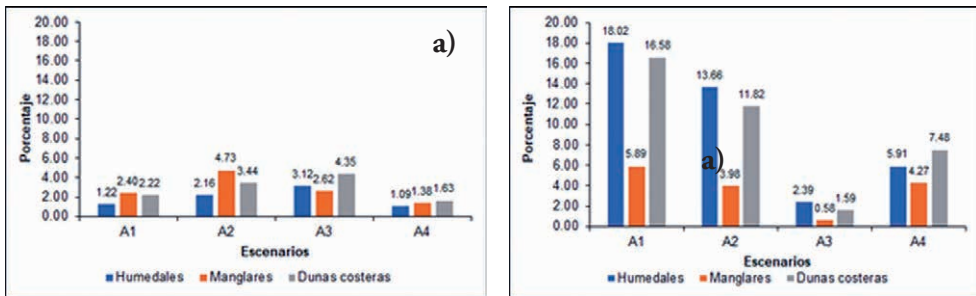


Figura 3. Porcentaje de la superficie perdida de los humedales, manglares y dunas costeras. a) Sistemas fotovoltaicos y b) Sistemas eólicos.

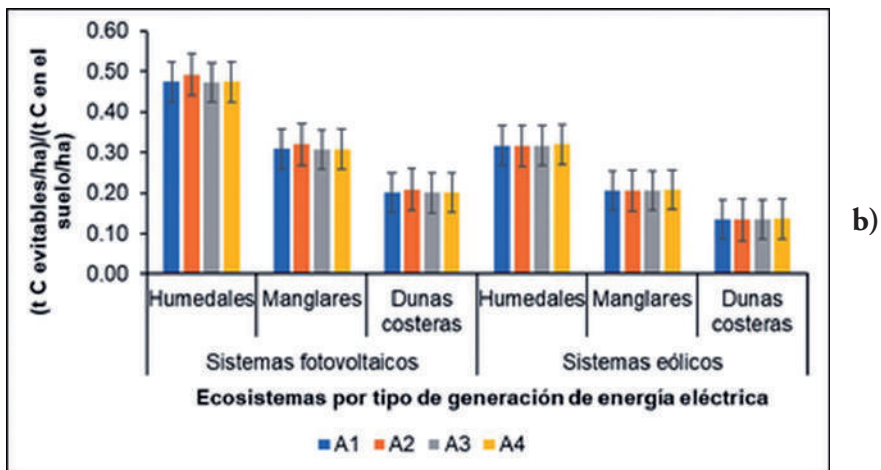


Figura 4. Costo de oportunidad en términos del carbono evitado: generación de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos y eólicos vs la conservación de los humedales, los manglares y las dunas costeras.

Tabla 9. Costo de oportunidad en términos del carbono evitado: generación de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos y eólicos vs la conservación de los humedales, los manglares y las dunas costeras.

Escenarios	Sistemas fotovoltaicos			Sistemas eólicos		
	Humedales	Manglares	Dunas costeras	Humedales	Manglares	Dunas costeras
A1	0.47	0.31	0.20	0.32	0.21	0.13
A2	0.49	0.32	0.21	0.32	0.21	0.13
A3	0.47	0.31	0.20	0.32	0.21	0.13
A4	0.47	0.31	0.20	0.32	0.21	0.14

Los datos están expresados en (t C evitables/ha) / (t C en el suelo/ha).

cos tienen menor costo de oportunidad – más cercanos a 1– que los sistemas eólicos. Sin embargo, existen diferencias que son acentuadas por: 1) el tipo de ecosistema y su capacidad para retener carbono en el suelo; así como acumularlo a lo largo del tiempo y 2) debido al sistema de generación de energía eléctrica. En síntesis, los resultados muestran que la generación de energía “limpia” a costa del cambio de uso del suelo de los ecosistemas, implica una mayor pérdida de carbono que la reducida por el tipo de generación. Este es un resultado fundamental a tener en cuenta y que debe analizarse con mucha profundidad en los proyectos particulares.

Costo de oportunidad: valor del carbono evitado por los proyectos de generación de energía vs valor de otros servicios ecosistémicos

Los resultados de la figura 5 y de la tabla 10 muestran que el costo de oportunidad por evitar emisiones a la atmósfera a partir del desarrollo de proyectos de generación de energía “limpia”, presentan una mayor pérdida de valor en \$USD/ha/2007 que lo obtenido por el valor de toneladas de carbono evitadas. Por ejemplo, en el caso del escenario tres de los sistemas fotovoltaicos en los manglares, por cada \$ USD/ha/2007 que se renuncia por obtener \$1 USD t C/ha producto de la generación de energía “limpias” se menos de lo renunciado por evitar las emisiones de carbono.

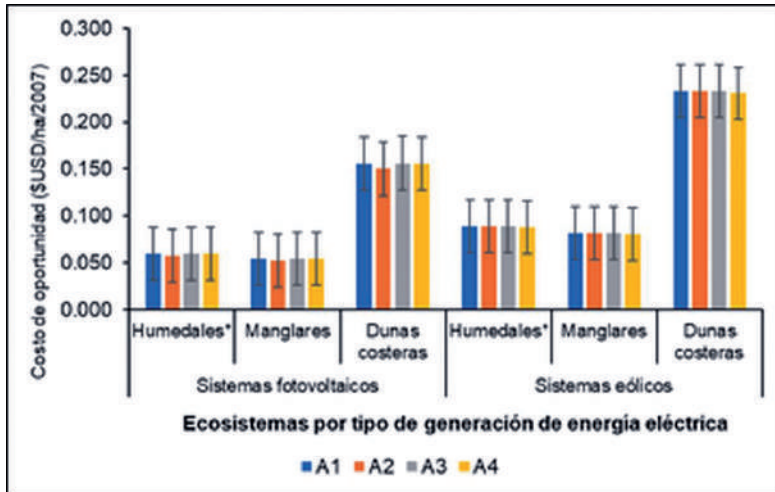


Figura 5. Costo de oportunidad: valor de una hectárea de ecosistema por el valor del carbono evitado debido a los proyectos de generación vs el valor de una hectárea debido al valor de los servicios ecosistémicos.

Tabla 10. Costo de oportunidad: valor de una hectárea de ecosistema por el valor del carbono evitado debido a los proyectos de generación vs el valor de una hectárea debido al valor de los servicios ecosistémicos.

Escenarios	Sistemas fotovoltaicos			Sistemas eólicos		
	Humedales*	Manglares	Dunas costeras	Humedales*	Manglares	Dunas costeras
A1	0.059	0.054	0.156	0.089	0.081	0.233
A2	0.057	0.052	0.150	0.089	0.081	0.233
A3	0.059	0.054	0.156	0.089	0.081	0.233
A4	0.059	0.054	0.156	0.088	0.080	0.231

*Corresponde a los valores de los popales que se muestran en la tabla 4. Los valores están expresados en \$USD/ha/2007.

Gobernanza del sistema

El proceso de transición de la generación de energía eléctrica basada en fuentes tradicionales y convencionales hacia las llamadas energías limpias (la generación eólica y la de sistemas fotovoltaicos), ha implicado un fuerte trabajo legislativo (Instrumentos de la Reforma Energética) y de creación de instituciones (Instituciones reguladoras), como puede verse en el esquema de la figura 6. Se han creado los marcos de evaluación para los proyectos con una capacidad de generación instalada igual o mayor que 0.5 MW; sin embargo, en el caso de aquellos que son menores que 0.5 MW se consideran generadores exentos por la Ley de la Industria Eléctrica (DOF, 2014a), y en el marco ambiental, se encuentran fuera del alcance de la Ley General del Equilibrio

Ecológico y la Protección al Ambiente (Cámara-de-Diputados, 2014) y del reglamento de la misma en materia de Evaluación de Impacto Ambiental.

Por otro lado, se han determinado áreas prioritarias –escenarios del azul– para el desarrollo de estos proyectos, pero el análisis muestra fallas como: 1) no toma en cuenta las dunas costeras, 2) no considera la cantidad de carbono almacenada en el suelo de los humedales y los manglares; así como la capacidad de acumulación que se perderá en el futuro y la cantidad que puede liberarse de metano por la pérdida de su cobertura, y 3) los servicios ecosistémicos adicionales mostrados en la tabla 4. Por tal motivo, sin menoscabar el avance que representa dejar el uso de carbón o hidro-

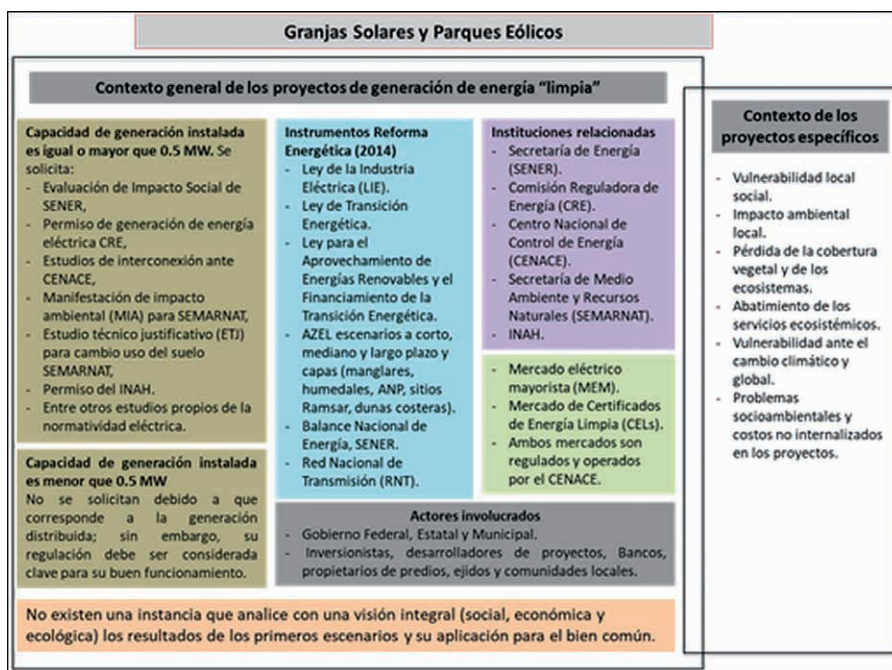


Figura 6. Esquema actual de gobernanza para la generación de energías limpias y carencias que presenta.

carburos para generar energía, se requiere de un análisis global de mayor profundidad para asegurar que México coadyuva a los acuerdos de París en Naciones Unidas (2015).

En el terreno social, la Evaluación de Impacto Social (EIS) –regulada por la Ley de la Industria Eléctrica (DOF, 2014a), por el reglamento de la misma (DOF, 2014b), y para su elaboración, por las Disposiciones Administrativas de Carácter General sobre la Evaluación de Impacto Social en el Sector Energético (DOF, 2018)–, es el instrumento normativo exigido por la SENER para su evaluación y aprobación; así como por la CRE para el otorgamiento del permiso de generación de energía, y de esta forma establecer los mecanismos de prevención, mitigación

y/o compensación de los posibles impactos sociales en las comunidades locales y en los pueblos indígenas (analizado con detalle en otro capítulo del presente libro). A pesar de la existencia de este instrumento, hasta antes del 2018 hay registros de casos de violación a los derechos humanos y a los pueblos indígenas tanto en sus costumbres como en sus tradiciones, y en los pocos beneficios sociales generados a las localidades (Juárez-Hernández y León, 2014). Por ello, la presencia de las instituciones e instancias sociales en este nivel de trabajo es de suma importancia, y de esta forma, analizar los proyectos particulares de manera integral desde la perspectiva social y ambiental en el marco de la gobernanza y el manejo de los recursos naturales (figura 6).

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Integración de los servicios ecosistémicos en los ETJ y EIS

Con la finalidad de establecer lineamientos claros para la incorporación de los servicios ecosistémicos en los instrumentos de evaluación de proyectos como los ETJ, los tomadores de decisiones, en este caso, la SEMARNAT y la Cámara de Diputados, deben trabajar en la incorporación de una metodología como parte del Capítulo Segundo, Artículo 121, y Fracción IX, X y XIII del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (Cámara-de-Diputados, 2014), con el objetivo de realizar la identificación y la clasificación de los servicios ambientales basado en trabajos como el de Groot *et al.* (2002, 2012); Millennium-Ecosystem-Assessment (2005); Fisher y Turner (2008) y establecer

el marco de evaluación de los ETJ y las MIA, por ejemplo. Sin embargo, las Evaluaciones de Impacto Social (EIS) también deben incorporar elementos como el análisis de la pérdida de los servicios ecosistémicos y su afectación social a través de los medios de vida, pues en las comunidades rurales generalmente es mayor el grado de dependencia que tienen los habitantes con respecto al consumo directo de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas (Daily *et al.*, 2009). En este sentido es importante tener en cuenta que algunos ecosistemas proporcionan un mayor número de servicios ecosistémicos que otros, o de mayor impacto. Su valoración económica es una manera indirecta de medirlo. Ello también debe constituir un marco de referencia para los tomadores de decisiones.

Servicios ecosistémicos y gobernanza para las decisiones

Como se analizó en la figura 6, el análisis del costo de oportunidad entre los servicios ecosistémicos y los proyectos de generación de energía limpia, debe evaluarse en el contexto de la gobernanza específica en cada una de las comunidades, las cuales pueden presentar problemáticas diferenciadas como vulnerabilidad social, el impacto ambiental local, el abatimiento de los servicios

ecosistémicos y, por lo tanto, la pérdida de la capacidad para sostener su subsistencia a lo largo del tiempo. Por esta razón, los tomadores de decisiones en instituciones como la SENER y la SEMARNAT, deben incorporar mecanismos metodológicos para evaluar los servicios ecosistémicos y la pérdida de sostenibilidad de las comunidades debido al abatimiento de los servicios ecosistémicos.

Conclusiones

Costo de oportunidad en términos del carbono

En el contexto de la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera, queda claro que conservar los humedales, los manglares y las dunas costeras, resulta más atractivo en términos del cambio ambiental (figura 4 y tabla 9); así como en el contexto del cambio climático y sus efectos producto de la emisión de carbono a la atmósfera. Esto sin considerar diversas externalidades como el impacto al paisaje (Meyerhoff *et al.*, 2010), la deforestación de las dunas costeras, de los manglares y de los humedales, así como su desecación, los disturbios en los sistemas lacustres y el impacto en la ruta de las aves migratorias mostrado por Meireles *et al.* (2013). Además, es necesario analizar los costos o externalidades en términos de la ocupación superficial de los humedales, los manglares y las dunas costeras, y los bienes y servicios ecosistémicos que se perderían por el desarrollo de los proyectos energéticos. Por tal motivo, la política ambiental, así como la política de crecimiento y desarrollo energético debería considerar dentro de sus instrumentos como el AZEL, el re-

ajuste de dichos escenarios en función de las restricciones que muestran el Inventario Nacional de Humedales (CONAGUA, 2013), la cobertura de manglares en México (CONABIO, 2015) y la superficie de dunas costeras en México (Martínez *et al.*, 2014).

Más importante aún, el presente capítulo realizó un análisis generalizado sin considerar los siguientes elementos: 1) diferencias de irradiación solar y potencial de viento en cada una de las zonas, 2) diferencias topográficas y condiciones del terreno lo cual se relaciona con los regímenes de inundación de los humedales y el daño que huracanes –vientos, marejadas y bajadas de agua– pueden producir, 3) vulnerabilidad de poblaciones cercanas, las cuales se ven actualmente beneficiadas por los servicios ambientales de los ecosistemas costeros, 4) diferencias en la capacidad de generación de los proyectos, ya que sólo se consideraron proyectos de 100 MW, los cuales son conectados a una tensión de 230 kV, y 5) en términos del carbono, el presente estudio no consideró que la degradación de humedales conlleva la liberación de metano que tiene un potencial 21 veces mayor

de calentamiento global que el CO₂ (Marín-Muñiz *et al.*, 2011, 2014, 2015; Marín-Muñiz, 2013; Hernández *et al.*, 2014), 6) ajustes al mapa de humedales de la CONAGUA (2013), tanto en la distribución de los humedales en general como de los distintos tipos (arbóreos y herbáceos) y las variaciones regionales en su capacidad de almacenamiento de carbono.

Costo de oportunidad vs otros servicios ecosistémicos

Depuración del agua

En otro capítulo de este libro, y en Moreno-Casasola (2016b), se establece la importancia ecológica y socioeconómica de este servicio ecosistémico que brindan los humedales y, particularmente, los humedales costeros como los popales y los tulares. En la tabla 4, se presentan valores monetarios por depuración y almacenamiento de agua en \$5 208 USD/ha/2007 para los manglares, en los popales de \$7 948 USD/ha/2007, en \$4 751 USD/ha/2007 para los tulares y en \$8 222 USD/ha/2007 para las selvas inundables. Esto implica un beneficio socialmente generalizado que se perdería por el desarrollo de proyectos de infraestructura de energía “limpia”. Esta pérdida implica un mayor gasto para establecer plantas de tratamiento de aguas que ayuden a suplir estos servicios.

Almacenamiento de agua dulce en el suelo

- Reducción de picos de inundaciones y por tanto protección de la zona costera. Este servicio es comúnmente conocido como protección contra disturbios y tormentas (de Groot *et al.*, 2002). El valor monetario estimado se puede observar en la tabla 4, y es uno de los valores monetarios que actualmente cobran mayor relevancia, sobre todo, ante

los escenarios de cambio climático y la intensificación de fenómenos naturales como los huracanes (Neri Flores *et al.*, 2017 y en prensa). Por tal motivo, remover estos ecosistemas con la finalidad de instalar infraestructura energética sería incurrir en externalidades hacia la población y sociedad situada en las zonas en donde los huracanes tienen mayor frecuencia de impacto.

- Alimentación del manto freático y contención de la cuña salina. En la sección de Gobernanza Ambientan de este libro, así como en Campos *et al.* (2011) y Moreno-Casasola (2016b), se muestra la capacidad que tienen los humedales costeros para recargar los mantos freáticos.

Costo de oportunidad de los servicios ecosistémicos

Evitar emisiones a la atmósfera producto de la generación de energía eléctrica a partir de sistemas y procesos “limpios” es una necesidad innegable; sin embargo, hacerlo o proyectarlo a costa de los servicios ecosistémicos que brindan los humedales, los manglares y las dunas costeras puede generar externalidades que absorberán las comunidades y poblaciones que se benefician directa e indirectamente del consumo de los bienes y servicios ecosistémicos que brindan. Por esta razón, resulta necesario incorporar a los instrumentos como el AZEL, las capas de información que permitan generar escenarios más estrictos para la planeación del desarrollo de proyectos de energías “limpias”. Además, debe analizarse el esquema de la figura 6 que muestra la situación actual de los actores involucrados, las instituciones, los instrumentos de toma de decisiones y los impactos en las poblaciones en el contexto de la gobernanza.

Literatura citada

- Camara-de-Diputados, 2013. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Ciudad de México. p. 79.
- Cámara-de-Diputados, 2014. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Ciudad de México. 123 p.
- Camara-de-Diputados, 2014. Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Ciudad de México. p. 58.
- Campos, A, M.E. Hernández, P. Moreno-Casasola, E. Cejudo Espinosa, A. Robledo R., e D. Infante Mata, 2011. Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8): 1388–1406.
- CENACE, 2018. Modelo General de Planeación 2018-2023. Ciudad de México.
- CONABIO, 2006. Minuta de la Reunión Interinstitucional para la definición de manglar. México. Ciudad de México. www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/manglares.html.
- CONABIO, 2015. Los manglares en México, Portal de Geoinformación. Ciudad de México. www.conabio.gob.mx/informacion/gis/.
- CONAGUA, 2013. Lineamientos para la clasificación de los humedales. Ciudad de México. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165385/Clasificaci_n.pdf.
- Daily, G.C., S. Polasky, J. Goldstein, P. Kareiva, H.A. Mooney, L. Pejchar, T.H. Ricketts, J. Salzman, y R. Shallenberger, 2009. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1): 21-28.
- de Groot, R., M.A. Wilson y R.M.J. Boumans, 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393–408.
- de Groot, R., L. Brander, S. van der Ploeg, R. Costanza, F. Bernard, L. Braat, M. Christie, N. Crossman, A. Ghermandi, L. Hein, S. Hussain, P. Kumar, A. McVittie, R. Portela, L.C. Rodriguez, P. ten Brink, y P. van Beukering, 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1: 50-61.
- DOF, 2012. Ley General de Cambio Climático. Ciudad de México. www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf.
- DOF, 2013. Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Ciudad de México. www.cre.gob.mx/documento/3870.pdf.
- DOF, 2014a. Ley de la Industria Eléctrica. Ciudad de México. www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014.
- DOF, 2014b. Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica. Ciudad de México. www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LIE.pdf.
- DOF, 2015. Ley de Transición Energética. Ciudad de México. www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf.
- DOF, 2018. Disposiciones Administrativas de Carácter General sobre la Evaluación de Impacto Social en el Sector Energético. Ciudad de México. www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5524885&fecha=01/06/2018.
- Espejel, I., S. Díaz de León, P. Moreno-Casasola, C. Vázquez-González, y M.E. Hernández, 2016. Los servicios ecosistémicos de los bosques costeros. p. 37-357. En P. Moreno-Casasola (ed.). Servicios ecosistémicos de selvas y bosques costeros de Veracruz. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC, Xalapa, Veracruz, México.
- Fisher, B., y R. Turner, 2008. Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*: 141(5): 1167-1169.
- Hernández, M.E., J.L. Marín-Muñiz, P. Moreno-Casasola, y V. Vázquez, 2014. Comparing soil carbon pools and carbon gas fluxes in coastal forested wetlands and flooded grasslands in Veracruz, Mexico. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*: 1–12.
- INEGI, 2010. Censo general de población y vivienda 2010. Ciudad de México. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx.
- INEGI, 2018. Anuario estadístico de población 2018. www.inegi.org.mx/.
- Juárez-Hernández, S., y G. León, 2014. Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del Desarrollo*, 45(178): 139–162.
- Li, X.R., P. Zhang, Y.G. Su, y R.L. Jia, 2012. Carbon fixation by biological soil crusts following revegetation of sand dunes in arid desert regions of

- China: A four-year field study. *CATENA*, 97: 119–126.
- Marín-Muniz, J. L., 2013. Balance neto de carbono en suelos de humedales costeros de agua dulce: implicaciones ecológicas y sociales. *Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO)*. Tesis de Maestría en Ecología Tropical. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. 155p.
- Marín-Muniz, J.L., M.E. Hernández, y P. Moreno-Casasola, 2011. Secuestro de carbono en suelos humedales costeros de agua dulce en Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*: 13(3): 365–372.
- Marín-Muniz, J.L., M.E. Hernández, y P. Moreno-Casasola, 2014. Comparing soil carbon sequestration in coastal freshwater wetlands with various geomorphic features and plant communities in Veracruz, Mexico. *Plant and Soil*, 378(1–2): 189–203.
- Marín-Muniz, J.L., M.E. Hernández, y P. Moreno-Casasola, 2015. Greenhouse gas emissions from coastal freshwater wetlands in Veracruz Mexico: Effect of plant community and seasonal dynamics. *Atmospheric Environment*: 107: 107–117.
- Martínez, M.L., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. Jiménez-Orocio, y D. Infante-Mata, 2014. Diagnóstico de las dunas costeras de México. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Ciudad de México.
- Martínez, M.L., G. Mendoza-González, y R. Silva-Cazarín, 2014. Land use changes and sea level rise may induce a “coastal squeeze” on the coasts of Veracruz, Mexico. *Global Environmental Change*, 29: 180–188.
- Meireles, A.J., A. Gorayeb, D.R. Freitas da Silva, y G. Santos de Lima, 2013. Socio-environmental impacts of wind farms on the traditional communities of the western coast of Ceará, in the Brazilian Northeast. *Journal of Coastal Research*, 65(sp1): 81–86.
- Mendoza-González, G., M.L. Martínez, D. Lithgow, O. Pérez-Maqueo, y P. Simonin, 2012. Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics*, 82: 23–32.
- Meyerhoff, J., C. Ohl, y V. Hartje, 2010. Landscape externalities from onshore wind power. *Energy Policy*, 38(1): 82–92.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Washington, DC. 68 p.
- Moreno-Casasola, P., 2016a. La zona costera y sus ecosistemas. p. 19–36. En P. Moreno-Casasola (ed.). *Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz*. INECOL, ITTO, CONAFOR, INECC, Xalapa-Veracruz, México.
- Moreno-Casasola, P., 2016b. *Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz*. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC, Xalapa-Veracruz, México. 360 p.
- Naciones Unidas, 2015. Acuerdo de París. Convención Marco sobre el Cambio Climático. París: Naciones Unidas. París, Francia. 40 p.
- SENER, 2017. Balance Nacional de Energía. Ciudad de México. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016_2_.pdf.
- SENER, 2018. PRODESEN. Ciudad de México. base.energia.gob.mx.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, M. E. Hernández, A. Campos, I. Espejel, y J.L. Fermán-Almada, 2016. Mangrove and Freshwater Wetland Conservation Through Carbon Offsets: A Cost-Benefit Analysis for Establishing Environmental Policies. *Environmental Management*, 59(2): 274–290.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, B.E. Escamilla-Pérez, S. Díaz de León, y L.A. Peralta Pérez, 2016. p. 186–198. Valor económico de los ecosistemas. En Moreno-Casasola, P. (ed.). *Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz*. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC, Xalapa-Veracruz, México.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, L.A. Peralta Peláez, R. Monroy, e I. Espejel, 2019. The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: An analysis of flood damage by hurricane impacts². *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37: 101180.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Las energías renovables en las costas

*E. Mendoza, P. Flores, J. Hernández-Fontes,
G. Rivera, A. Felix y M. Escudero*

Resumen

El uso de energías renovables ha cobrado gran relevancia como una alternativa limpia en relación con el aprovechamiento de combustibles fósiles. Aproximadamente tres cuartas partes de las comunidades localizadas a lo largo de las costas a nivel mundial pueden beneficiarse de energías renovables provenientes del océano. Este capítulo describe las principales fuentes de energías renovables del océano, así como aspectos importantes para la toma de decisiones y gobernanza relacionados con los proyectos de extracción de energía que pueden ser implementados en regiones costeras. La primera parte del capítulo describe las energías del océano más comunes actualmente. La segunda parte menciona puntos importantes relacionados con el aprovechamiento de recursos oceánicos para mejorar la calidad de vida en la costa. En la tercera sección, se describen algunas consideraciones del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC), para el uso y explotación de las energías renovables marinas (ERM). Por último, en la cuarta sección, se tratan algunas implicaciones de la gobernanza en la zona costera.

Palabras clave: energías renovables , océano, zona costera.

Introducción

El compromiso más reciente a nivel global enfocado en la transformación del paradigma energético se alcanzó en el año 2015 con la firma y ratificación del Acuerdo de París (ParisAgreement, 2015). Una de las respuestas de México fue la Ley para la Transición Energética. Dicha ley, aprobada en 2015, busca regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como la reducción de sus emisiones contaminantes. En este contexto, se vuelve una prioridad para México el desarrollo de las energías renovables, a saber, Geotérmica, Solar, Eólica, Biomasa y Marina. Todas ellas, reconociendo los estados de madurez tecnológica de cada una, pueden explotarse en México.

La conversión de estas fuentes de energía también busca proporcionar beneficios significativos sociales y económicos, tales como nuevos empleos, inversiones adicionales, educación y formación téc-

nica, y mejoras a la infraestructura de comunicaciones y transportes. En general, la transición de la economía nacional basada en hidrocarburos hacia una economía basada en energía renovable, tiene por objetivo repercutir de manera significativa en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. Dicho impacto positivo encuentra un nicho de oportunidad en las zonas costeras, donde es posible impulsar la auto y micro generación eléctrica, así como el uso compartido de las instalaciones para la reducción de la vulnerabilidad costera a eventos hidrometeorológicos y, a la vez, propiciar una coexistencia armoniosa entre las actividades humanas y los ecosistemas costero-marinos. En este sentido, vale la pena partir de una breve descripción de las fuentes de energía que provee el medio marino.

Energías renovables marinas

Las regiones costeras de México son una fuente de diversos recursos económicos que pueden contribuir al desarrollo sostenible del país, así como proveer de energías renovables, las cuales podrían ayudar a satisfacer la demanda energética de regiones en las cuales existe dificultad de abastecimiento de red eléctrica (cuando el recurso es bajo), o de realizar integración a la red eléctrica de cada país (cuando existe persistencia y alta disponibilidad de recurso).

Los recursos energéticos marinos que pueden ser extraídos en las regiones costeras y oceánicas son debidos al oleaje, las corrientes marinas y las generadas por las

mareas, el viento, los gradientes térmicos existentes a diversas profundidades y los gradientes salinos entre cuerpos de agua costeros. Cada uno de estos recursos requiere de tecnologías propias para la captación y conversión a energía eléctrica. A continuación, se describe cada uno de ellos.

Energía del oleaje

La energía de las olas se captura empleando estructuras fijas o flotantes, según la profundidad del lugar de extracción. Estas estructuras están diseñadas para transformar la energía cinética o potencial de las olas en movimientos lineales o circulares con los

cuales son activados generadores de energía eléctrica. Los dispositivos específicos deben ser seleccionados según las condiciones locales para obtener la mejor eficiencia posible. Actualmente existen diferentes tipos de dispositivos para la generación de energía undimotriz, que en general, se definen por orientación respecto al oleaje y principio de funcionamiento, tales como: atenuadores puntuales (flotantes o fijos al fondo); dispositivos oscilantes (fijos a fondo o en columna en la costa); dispositivos por rebase; por mencionar los más conocidos. Algunos de estos dispositivos han sido inspirados en especies animales (dispositivos “bio-inspirados”) (Zhang y Aggidis, 2018). Como

ejemplo, la figura 1 muestra dos dispositivos de conversión de energía del oleaje o WEC (Wave Energy Converter) obtenidos a partir de la forma de un quilópodo (figura 1a; Ecomerit 2010; Zhang y Aggidis 2018) y una serpiente marina (figura 1b; Baike, 2018; Wordpress, 2009; Zhang y Aggidis, 2018).

Energía de corrientes marinas y mareales

La energía que se obtiene de las corrientes es aprovechada particularmente en zonas donde hay reducción de área transversal al paso de las corrientes. Comúnmente, el flujo de agua acciona rotores de turbinas

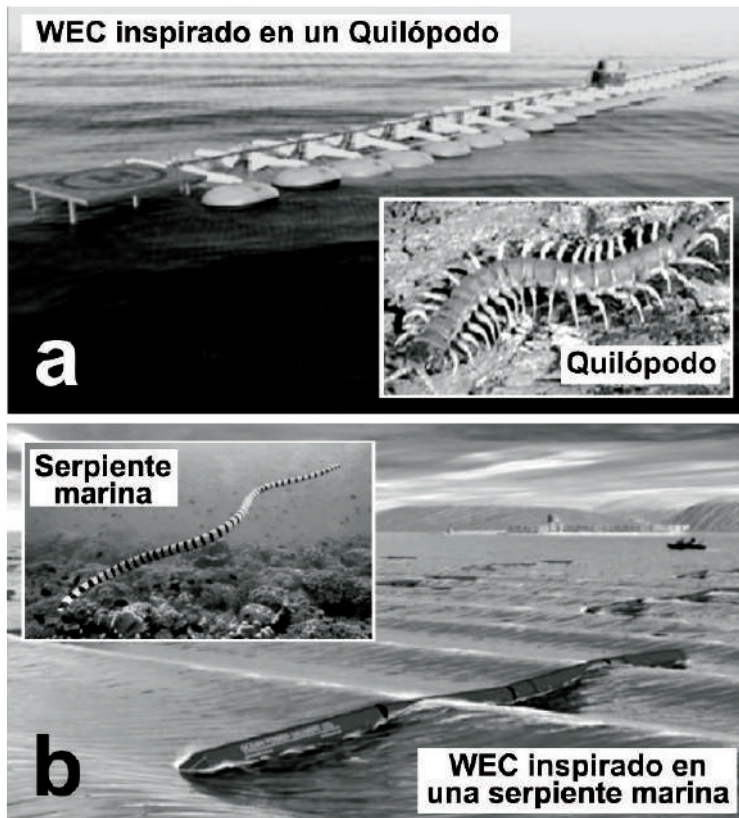


Figura 1. Ejemplos de WECs bio-inspirados (a) quilópodo (Ecomerit, 2010; Zhang y Aggidis, 2018). (b) serpiente marina (Baike, 2018; Wordpress, 2009; Zhang y Aggidis, 2018).

sumergidas en el océano (de eje horizontal o vertical). Esas turbinas pueden ser instaladas fijas al fondo marino o flotantes (Yuce y Muratoglu, 2015). La figura 2a muestra un ejemplo de turbina sumergible de eje horizontal (Cleantechnica, 2011; Zhou *et al.*, 2017). Por otro lado, en años recientes se ha desarrollado un nuevo concepto que consiste en aprovechar el movimiento oscilatorio resultante de la vibración inducida por vórtices (VIV, *Vortex Induced Vibration*) (Lee y Bernitsas, 2011) aquí el agua fluye alrededor de estructuras que oscilan en torno a un eje fijo (figura 2b).

Energía eólica marina

El aprovechamiento de la energía del viento en el mar utiliza conceptos similares a las turbinas de viento en tierra. Las estructuras de energía eólica marina consisten en un medio de fijación sujeto al fondo marino, una estructura de soporte (sistema interactuando con la superficie libre del mar), una columna (soporte principal), y un rotor con hélices de gran tamaño, el cual incluye un generador eléctrico. Dicho generador está preparado para operar en condiciones

adversas de mar, las cuales incluyen fuertes vibraciones debido a las cargas ambientales (olas, viento), así como la humedad y salinidad marina. Esta fuente de energía es una de las más viables actualmente debido a los avances tecnológicos que se tienen y a la experiencia en su instalación, ya que muchos conceptos han sido análogos a los empleados en la industria del petróleo. La figura 3 muestra los tipos más comunes de turbinas eólicas marinas, los cuales se clasifican según su profundidad de operación. De manera similar a la industria del petróleo en aguas poco profundas (<50 m) es común utilizar estructuras fijas, basadas en el principio de Monopilas o estructuras tipo “Jacket”. Por otro lado, para profundidades mayores a 50 m, es más viable utilizar estructuras flotantes ancladas al suelo marino. Entre los sistemas de anclaje, es común utilizar líneas a tensión y de tipo catenaria, utilizando diversos materiales, según las profundidades a las que operan (Liu *et al.*, 2018). Avances futuros podrían considerar estructuras con posicionamiento dinámico para disminuir la dependencia de las líneas de anclaje (Ayotte, 2015).

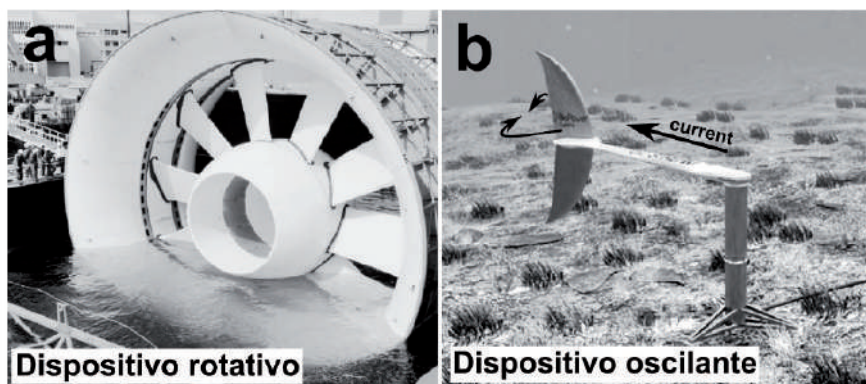


Figura 2. Ejemplos de dispositivos para corrientes marinas: (a) dispositivo rotativo: turbina de eje horizontal (Cleantechnica, 2011; Zhou *et al.*, 2017), (b) dispositivo oscilante por la generación de vórtices (Rostami y Armandei, 2017).

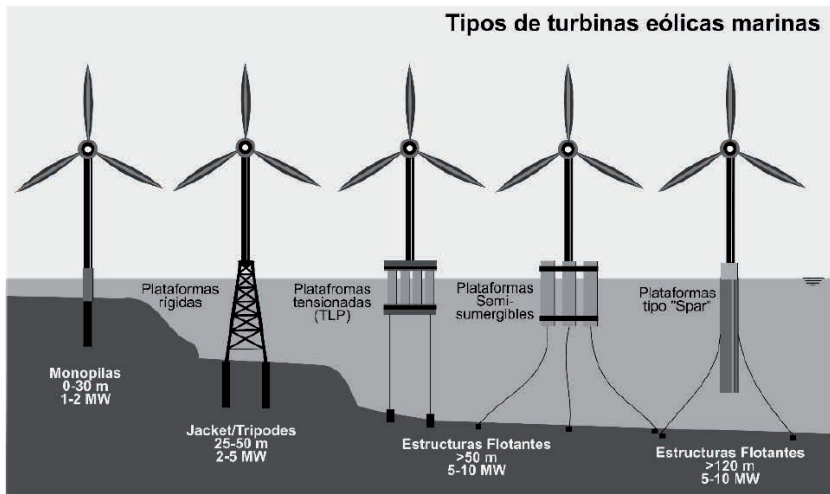


Figura 3. Tipos de turbinas eólicas marinas según su profundidad de operación. Adaptado de (Windpower, n.d.).

Energía por gradiente térmico

El gradiente (o diferencia) de temperatura entre la superficie libre del mar y distintas profundidades, puede ser aprovechado por medio de plantas de conversión térmica, las cuales funcionan con base en el conocido ciclo Rankine y se conocen como plantas OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*). La energía por gradiente térmico puede ser aprovechada con eficiencia cuando existen diferencias de temperaturas de por lo menos 20 °C (Nihous, 200; Melikoglu, 2018). Para esto, pueden ser utilizadas plantas basadas en tres tipos de procesos OTEC: ciclo cerrado (utilizan fluido de trabajo diferente al agua), ciclo abierto (el fluido trabajo es el agua de mar) y ciclo híbrido (Melikoglu, 2018) (figura 4).

Para este tipo de extracción de energía se pueden obtener productos secundarios que pueden tener un alto impacto en poblaciones cercanas a la costa, tales como agua potable, aire acondicionado, y con pocos estudios de éxito: agricultura y piscicultura.

Energía por gradiente salino

La obtención de energía por gradiente salino consiste en la captura de la energía que de otra forma sería liberada durante la interacción de fluidos con diferente concentración de sal. Esta energía puede ser aprovechada en zonas en las cuales desembocan ríos de agua dulce en el mar (Alvarez-Silva y Osorio, 2014; Hernández-Fontes *et al.*, 2019) en donde existen desembocaduras de ríos en lagunas híper-salinas (Emdadi *et al.*, 2016). Las técnicas más desarrolladas para este tipo de generación son el método de ósmosis retardada por presión (PRO, *Pressure Retarded Osmosis*) y electrodiálisis inversa (RED, *Reverse Electrodialysis*), ilustrado en la figura 5a y figura 5b, respectivamente.

En el método PRO, volúmenes de agua dulce y salada son introducidos en un reservatorio dividido por una membrana. Por efecto de ósmosis, la presión en el tanque de agua salada incrementa produciendo un chorro que es dirigido a una turbina (figura 5a). En el método RED (figura 5b) se utili-

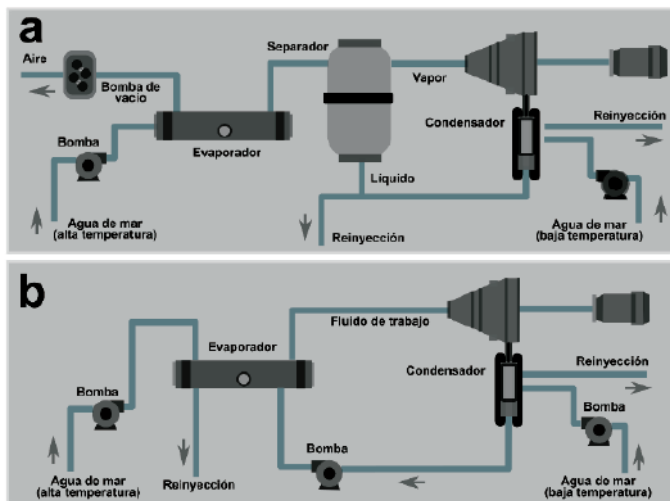


Figura 4. Sistemas OTEC: (a) ciclo abierto, (b) ciclo cerrado. Adaptado de (II-UNAM, n.d.).

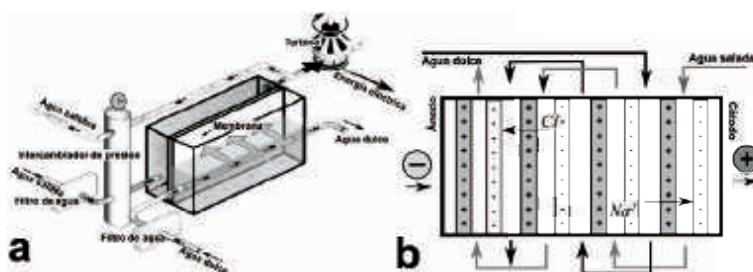


Figura 5. Principales métodos de producción de energía eléctrica por gradiente salino: (a) ósmosis retardada por presión (PRO); adaptado de (Neumann *et al.*, 2011) y (b) electrodialísis inversa (RED); adaptado de (ClimateTechWiki, 2019).

zan membranas de intercambio iónico para separar la molécula de la sal en iones que,

en presencia de un par REDOX, producen potencia eléctrica.

El aprovechamiento de las energías marinas para mejorar la calidad de vida en la zona costera

Las Naciones Unidas, en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, mencionan en el “Objetivo 7 Energía Asequible y Sos-

tenible”, que la energía es la base para la mayoría de los desafíos y oportunidades que hace frente el mundo actual (United

Nations, 2015). El acceso a la energía es esencial para la generación de empleos, seguridad, cambio climático, generación de alimentos, aumento de ingresos, entre otros.

Es por esto que, entre los objetivos de la Agenda, se encuentra garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos; además de aumentar la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas. El aprovechamiento de la energía marina se presenta como una opción viable para el cumplimiento de varios de los objetivos de esta agenda, ya que además de ser una energía renovable, puede mejorar la calidad de vida de la sociedad.

Existen diferentes estudios que apoyan una mejora en la calidad de vida asociada a la generación de energía a partir de fuentes oceánicas. A continuación, se explican brevemente aquellos que consideran un aporte a la mejora en la calidad de vida en la sociedad.

El uso y aprovechamiento de la energía marina ofrece una nueva alternativa de generación de energía, y reduce la dependencia de combustibles fósiles, los cuales, al ritmo actual de explotación y de crecimiento de la demanda energética, se espera que se agoten o al menos sean insuficientes de manera crítica en las próximas décadas (Huckerby *et al.*, 2012).

La energía marina tiene la capacidad de satisfacer la creciente demanda eléctrica, lo que permitirá reducir la dependencia de los suministros importados, aumentar la seguridad nacional y reducir el riesgo de volatilidad futura del precio de los combustibles fósiles (Rourke *et al.*, 2010).

El uso de energía marina para la generación de electricidad reducirá, de manera importante, las emisiones de gases de efec-

to invernadero debido a que la principal fuente de emisiones de carbono, óxido de azufre, óxido nitroso, y mercurio provienen de la generación de energía eléctrica por otros medios (Bedard, 2011).

La implementación del aprovechamiento de energía marina estimulará la generación de empleos locales y el desarrollo económico, a través de la construcción, manejo y mantenimiento de las plantas de energía (Bedard, 2011).

En resumen, podemos concluir que entre los principales beneficios sociales de la energía oceánica se encuentran: la reducción de la dependencia a la importación de energía, reducción del riesgo de volatilidad del precio de los combustibles fósiles, reducción en la producción de gases de efecto invernadero y estimulación de la creación de empleo y desarrollo a nivel local (Bedard 2011; Bonar *et al.*, 2015; Huckerby *et al.*, 2012; Rourke *et al.*, 2010).

Sin embargo, también es importante mencionar la posible aparición de efectos negativos, resultado de la implementación de energías oceánicas en la costa. En general, dichos efectos se consideran principalmente en la parte ambiental, por medio de impactos que pueden darse sobre la flora y fauna marina, o cambios en el ecosistema. También es posible estudiar impactos sociales negativos, que podrían ser: la seguridad de navegación, cambios en las actividades de recreación, en el turismo o en el valor de las propiedades.

Es posible distinguir dos tipos de cambios asociados a la generación de energía a partir de los recursos del océano: el primero, está asociado a la presencia de los dispositivos de conversión de energía marina que generan cambios sobre el ecosistema marino (hidrodinámica, morfología, mezcla de la columna de agua, etc.), y que socialmen-

te puede restringir la libre navegación de embarcaciones, cambio de ruta a sitios de pesca, impactos del paisaje, etc. El segundo está relacionado con la infraestructura en la costa asociada a los procesos de conversión de la energía, almacenamiento y distribución; dicha infraestructura puede tener efectos en las actividades de recreación y turismo (Warren *et al.*, 2005).

Dalton *et al.* (2015), en el Reino Unido, propone algunas recomendaciones para compensar los impactos negativos dentro de las comunidades costeras “*Esquemas de Beneficios Comunitarios*”. Estas consisten en lo siguiente:

- Creación de fondos comunitarios, donde el desarrollador entrega una suma global o un pago regular en algún tipo de fondo para el beneficio de los residentes locales.
- Beneficios en especie, donde el desarrollador proporciona o paga directamente las mejoras de las instalaciones de la comunidad local, mejoras ambientales, apoyo educativo, etc.
- Propiedad local en el proyecto energético. A través de oportunidades de inversión de capital personal, participación en los beneficios o esquemas de propiedad parcial que vinculan los beneficios de la comunidad al desempeño del proyecto.
- Contratación local y empleo local asociado durante la construcción y operación.

Para lograr la mejora de la calidad de vida de las comunidades costeras asociadas a proyectos de energía marina, es de suma importancia contar con buena comunicación e intercambio adecuado de información entre los desarrolladores del proyecto y la comunidad involucrada, además de campañas de educación y mejora

en las prácticas de participación pública; así como evitar proyecciones económicas exageradas. Todo esto con la finalidad de tener mayor aceptación de los desarrollos de energía renovable y ganar la confianza de las comunidades locales.

En México, los 17 estados costeros constituyen el 56 % de la superficie continental del país y concentran aproximadamente el 45.8 % de la población total (Lara-Lara, 2008). De acuerdo con Azuz y Rivera (2007), el crecimiento poblacional de los estados y municipios costeros es uno de los retos sociodemográficos más relevantes para la planeación y manejo costero. Por lo anterior, es de suma importancia tener una estimación de las necesidades básicas que deben ser satisfechas; como son: vivienda, servicios de salud, educación, empleo, transporte, vialidad, seguridad, áreas de recreación, abastecimiento y disposición de agua, energía y manejo de residuos. Además, es importante considerar la presión que se impone sobre el medio ambiente y la vulnerabilidad a la que la población puede estar expuesta.

El Consejo Nacional de Población (CONAPO) realiza el índice de marginación desde el año 1990, en el que busca diferenciar a los municipios de acuerdo con las carencias que padece la población, en lo que se refiere a: i) falta de acceso a la educación, ii) residencia en viviendas inadecuadas y iii) percepción de ingresos monetarios insuficientes. A partir de estas carencias se generan cinco categorías de marginación: Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto (CONAPO, 2012). A este punto es importante mencionar que, dentro del análisis de vivienda inadecuada, la falta de acceso a la energía eléctrica se toma en cuenta como una forma de exclusión. En la tabla 1 se puede observar que, de los 261 municipios

Tabla 1. Porcentajes de los índices de marginación para los litorales de México (CONAPO, 2012).

Zona	Muy bajo a bajo	Muy alto a alto
Pacífico y Golfo de California	40.6 %	43.9 %
Golfo de México y el Caribe	24 %	40.8 %

costeros de México, tanto en el litoral pacífico como en el atlántico, los índices de marginación de alto a muy alto cubren más del 40 % del total. En particular, los estados de Oaxaca, Guerrero y Veracruz presentan el mayor número de municipios con frente litoral con grado de marginación “Muy Alto” (CONAPO, 2012).

Otro análisis nacional lo lleva a cabo el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Los indicadores de CONEVAL para considerar la condición de pobreza son: i) Ingreso corriente per cápita, ii) Rezago educativo, iii) Acceso a servicios de salud, iv) Acceso a la seguridad social, v) Calidad y espacios de la vivienda, vi) Acceso a servicios básicos en la vivienda, vii) Acceso a la alimentación, viii) Grado de cohesión social y ix) Acceso a carretera pavimentada. De los anteriores, el acceso a energía eléctrica se considera como un servicio básico en la vivienda.

En esta medición de la Pobreza desarrollada por CONEVAL, de los 32 estados de la república, Veracruz ocupa el noveno lugar en población en situación de pobreza y el séptimo en pobreza extrema. De los 147 municipios con mayor porcentaje de personas viviendo en condiciones de pobreza y pobreza extrema, 12 son costeros, entre los cuales se encuentran: Pajapan, Mecayapan, Soteapan, Catemaco, San Andrés Tuxtla, Tamiagua, entre otros (CONEVAL, 2013).

La implementación de proyectos de aprovechamiento de energías marinas en municipios costeros en condiciones vul-

nerables por su grado de marginación y pobreza puede convertirse en una oportunidad para el desarrollo del bienestar comunitario; donde sería posible generar beneficios sociales y económicos, tales como generación de empleos locales, a corto, mediano y largo plazo; por ejemplo, en la fase de construcción y mantenimiento de la infraestructura, así como el funcionamiento de la misma; además de la generación de empleos indirectos como hoteles y restaurantes.

Los proyectos de extracción de energías limpias marinas deben estar comprometidos con la sociedad, estableciendo como una consecuencia secundaria a la generación de energía, que el desarrollo económico resulte en mejoras en redes de servicio público, como alcantarillado, agua potable, redes de comunicación, etc.

Además de contar con beneficios directos por el establecimiento de plantas de conversión de energía, tiene que trabajarse a la par el desarrollo de campañas de educación y capacitación adecuadas que busquen fomentar la participación de la comunidad de forma directa en el funcionamiento de los proyectos de aprovechamiento de energía. Por otro lado, la economía local también se puede beneficiar con la creación de fondos comunitarios y beneficios en especie, explicados anteriormente; además de la vinculación de los beneficios de la comunidad al desempeño del proyecto. Finalmente, todo lo anterior tendrá como consecuencia que estas comunidades, hasta ahora olvidadas,

tengan un lugar en la agenda de desarrollo nacional.

Es de suma importancia que las personas de la comunidad involucrada reciban los beneficios que estos desarrollos pueden te-

ner en sus comunidades y, de esta manera, que las comunidades sean incentivadas en para participar en el cuidado, desarrollo y funcionamiento de los proyectos de energía marina.

Consideraciones del manejo integrado de la zona costera (MIZC), para el uso y explotación de ERM

En México se han desarrollado diversos instrumentos y disposiciones jurídicas dirigidas a la regulación de las zonas marinas y costeras, así como su aprovechamiento sustentable y conservación de los recursos naturales. Las zonas marinas y costeras cuentan con 38 leyes Generales y Federales, un número importante de leyes estatales y ordenanzas municipales; así como numerosas Normas Oficiales Mexicanas e instrumentos internacionales. Los mencionados anteriormente, ejercen sus atribuciones en al menos 12 dependencias y 22 entidades públicas federales, un número importante de secretarías estatales y unidades de administración pública municipal (CIMARES, 2011).

Por otro lado, México es parte de acuerdos multilaterales ambientales, tales como el Convenio para la Protección y Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe, La Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar y la Cumbre de Desarrollo y Medio Ambiente “Río+20”, celebrada en 2012, donde uno de los 17 objetivos a cumplir para el 2030 es la energía asequible y limpia (CIMARES, 2011; Naciones Unidas, 2012).

Por otro lado, el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, en el eje: “Desarrollo económico”, señala que es necesario “es-

tablecer una política energética soberana, sostenible, baja en emisiones y eficiente para garantizar la accesibilidad, calidad y seguridad energética.” También menciona que el sector energético es una de los sectores claves para impulsar el desarrollo económico de México; y que para satisfacer la demanda creciente de energía a precios accesibles y garantizar la soberanía y seguridad energética nacional, será necesario desarrollar la producción nacional de energía de manera sostenible, promoviendo su generación con fuentes renovables (Gobierno de México, 2019)

En impulsos que se dieron en el sexenio anterior, el resultado fue la obtención de la Ley de Transición Energética (LTE), que impulsó la creación del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE). Este fondo es un instrumento de política pública de la Secretaría de Energía, el cual tiene como objetivo principal fomentar acciones para el cumplimiento de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (SENER, 2018).

Con todo lo anterior, es posible decir que los esfuerzos gubernamentales en materia de energía están hacia la explotación de recursos renovables que permitan la

obtención de energía limpia para el abastecimiento de la población actual considerando crecimiento poblacional en los siguientes años.

En particular, para las energías del océano, Mesta-Fernández (2017) menciona que el marco legal no es suficiente para alcanzar el objetivo previsto en el artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: el Desarrollo Integral y Sustentable. Esto se debe, principalmente, a la falta de visión, objetivos y enfoques del desarrollo sostenible en la legislación y a la regulación sectorial ineficaz e ineficiente de las zonas marinas y costeras.

Sin embargo, no se observan esfuerzos para desarrollar el conocimiento necesario que permita establecer normas para la extracción de energía de fuentes oceánicas. Por lo que la integridad de las costas y mares mexicanos está en riesgo ya que no existe una regulación efectiva que garantice la protección ambiental y de los recursos naturales; ni del aprovechamiento sostenible de las costas. Además, la falta de coordinación de las diferentes estancias gubernamentales genera el incumplimiento de las garantías de los derechos de los habitantes, visitantes, inversionistas y otras personas con intereses asociados a las zonas costeras (Carmona Lara, 2009; Mesta-Fernández, 2017).

En México, en la última década se ha intentado, en diferentes ocasiones, proclamar una Ley de Costas y Mares que defina las competencias de los diferentes niveles de

gobierno y adecue las necesidades políticas a la conservación; buscando así la protección y el desarrollo sostenible. En junio de 2008, por acuerdo presidencial, se creó la CIMARES (Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas), cuyo objetivo es coordinar las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la planeación, ordenación y desarrollo sustentable de los mares y las costas del territorio nacional (SEMARNAT, 2012). La CIMARES crea un instrumento integral de gestión la Política Nacional de Mares y Costas de México, con la finalidad de asegurar la continuidad de los esfuerzos para integrar el desarrollo económico-social con la conservación del patrimonio natural de nuestros ecosistemas marinos y costeros.

Sin embargo, uno de los principales factores que limitan las posibilidades de alcanzar una legislación de manejo integral de las zonas costeras es que no existe un consenso entre los sectores de la administración pública federal, estatal y municipal. Es decir, cada sector establece y regula sus políticas según su enfoque, sus conceptos y figuras legales. Esto genera conflictos legales e instrumentos que resultan inadecuados y contradictorios, además de sobrerregulaciones en la materia, inconsistencias y falta de congruencia entre los diversos instrumentos jurídicos sobre posición o desarticulación de competencias (SEMARNAT y INECC, 2013).

Implicaciones de la gobernanza en la zona costera

Como se menciona en el apartado anterior, existen instrumentos nacionales e interna-

cionales que están enfocados al desarrollo sostenible y protección de la costa y mares

mexicanos; sin embargo, dichos instrumentos no son suficientes para una gobernanza adecuada de la zona costera. Los estudios de Carmona-Lara (2009) y Mesta-Fernández (2017) mencionan que, a pesar del esfuerzo que se ha puesto en la creación de leyes eficaces y funcionales, aún existen muchas deficiencias y espacios vacíos, principalmente, en lo relacionado con la explotación de recursos marinos.

Existe una relación directa entre la presión antropogénica hacia las zonas marina y costera y el nivel de eficacia de la gobernanza (FAO, 2014). Uno de los principales problemas de la gobernanza de zonas marinas, de México y el mundo, es la gestión sectorial. En particular, en nuestro país los organismos de pesca regulan las capturas pesqueras, las agencias ambientales se ocupan de la prevención de la contaminación y otros organismos especializados regulan el transporte marítimo, la explotación minera y la extracción de petróleo y gas. Cada organismo o institución elabora y aplica estrategias y políticas diferentes relativas a la diversidad biológica y el medio ambiente, la pesca, el cambio climático y la reducción de la pobreza (Vierros, 2017).

La buena gobernanza de las zonas marinas y costeras permite utilizar el conocimiento para armonizar el uso sostenible, la conservación ambiental y el desarrollo social y económico de las comunidades costeras. Esto requiere de trabajo a diferentes escalas, local, regional, nacional, internacional; además de colaboración y transparencia entre entidades e individuos (Olsen y Ochoa, 2007). De esta manera, se pretende que sea posible alcanzar las metas de desarrollo social como son:

- Mejoras específicas en la calidad de vida de la población de las zonas consideradas. Por ejemplo, obtención de una mayor equidad en el acceso a los recursos costeros o en la distribución de

sus beneficios; reducción de conflictos entre grupos de usuarios; reducción de riesgos; así como conservación de valores naturales, culturales y estéticos.

- Mejoras específicas en los ambientes biofísicos, como mejoras en la condición de humedales, en las condiciones ambientales para la vida silvestre y en la calidad del agua.
- Mejoras específicas en el sistema de gobernanza para hacerlo más inclusivo, eficiente y efectivo. Por ejemplo, participación transparente proactiva y positiva entre los actores locales; integración de los diferentes niveles de gobierno y adopción de nuevos enfoques para las decisiones costeras por parte del gobierno central.

De acuerdo con La Corporación Financiera Internacional (IFC, 2012), los pueblos indígenas suelen encontrarse entre los segmentos más marginados y vulnerables de la población; aún más si sus tierras y recursos son modificados, deteriorados u ocupados por personas ajenas. Esto puede generar una amenaza a sus lenguas, culturas, religiones, creencias espirituales e instituciones. En consecuencia, los Pueblos Indígenas pueden quedar expuestos a diferentes tipos de riesgos y los impactos asociados con el desarrollo de proyectos de energías marinas posiblemente sean más severos que en comunidades no indígenas. Estos riesgos e impactos pueden incluir la pérdida de identidad, cultura y medios de subsistencia con base en recursos naturales; así como una mayor exposición al empobrecimiento y a las enfermedades (Delgado *et al.*, 2016).

Delgado *et al.* (2016) mencionan que cualquier proyecto de aprovechamiento de energía marina debe cumplir con las

siguientes garantías relacionadas con las comunidades mencionadas anteriormente:

- Garantizar que el proceso de desarrollo fomente el respeto pleno de su dignidad, derechos humanos, aspiraciones, culturas y medios de subsistencia con base en los recursos naturales.
- Evitar que los proyectos tengan impactos adversos sobre sus comunidades y, cuando no sea posible evitarlos, minimizarlos, restaurar y compensar por dichos impactos.
- Promover beneficios y oportunidades de desarrollo sostenible a estas comunidades de una manera apropiada a sus culturas.
- Establecer y mantener una relación basada en consultas y participación informada con los Pueblos Indígenas afectados por un proyecto a lo largo de todo el ciclo del proyecto.
- Asegurar el consentimiento previo, libre e informado de las comunidades afectadas en el diseño, la ejecución y los resultados esperados del proyecto cuando estén presentes las circunstancias especiales descritas en la Norma de Desempeño.
- Respetar y conservar la cultura, conocimientos y prácticas de los pueblos indígenas.

En este sentido, los desarrolladores del proyecto, las autoridades competentes y la comunidad involucrada deben estar al tanto de los cambios que se generarán en la zona, principalmente, en cuanto al uso de suelo, en el sector pesquero, la navegación, el paisaje y en los usos y costumbres.

Uno de los primeros sectores impactados por estos proyectos es el sector pesquero

(Leeney *et al.*, 2014). Durante las etapas de construcción, mantenimiento y el propio funcionamiento, se pueden generar ruidos, vibraciones y campos electromagnéticos que podrían producir el desplazamiento temporal de especies marinas de importancia comercial (Boehlert y Gill, 2010; Haxel *et al.*, 2011; Frid *et al.*, 2012; Schramm *et al.*, 2017).

Para evitar conflictos de intereses entre los desarrolladores y el sector pesquero, es necesario realizar un mapeo para seleccionar la zona, permitiendo la participación de los pescadores en un proceso de ubicación colaborativa de los sitios de desarrollo; además de la planificación espacial marítima (OES, 2017). Asimismo, los pescadores locales podrían ser reclutados para propósitos de monitoreo local y las plantas procesadoras de pescado recibirían electricidad subsidiada (Kularathna *et al.*, 2019).

En cuanto al cambio en el paisaje, a pesar de que la presencia de infraestructura cerca de la costa pueda interferir con la belleza escénica y ciertas actividades de recreación, también puede resultar esta una oportunidad para estimular el turismo local, organizando excursiones en barco a las áreas de la granja de energía. Además, el efecto de arrecife artificial generado por la infraestructura podrían crear un ambiente propicio para el snorkeling y el buceo; aunque estas actividades dependerán del tipo de dispositivo implementado (Kularathna *et al.*, 2019)

La gobernanza de las zonas costeras requiere que los actores locales estén involucrados; además de la participación responsable de la sociedad organizada, y la descentralización de las autoridades locales.

Literatura citada

- Alvarez-Silva, O., y A.F. Osorio, 2014. Salinity gradient energy potential in Colombia considering site specific constraints. *Renew. Energy*, 74: 737-748. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.074>
- Ayotte, J., 2015. Dynamic positioning of a semi-submersible, multi-turbine wind power platform <<http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:789804/FULLTEXT01.pdf>> [Accesado el 1 de julio de 2019]. Uppsala, Sweden.
- Azuz Adeath, I., y E. Rivera Arriaga, 2007. Estimación del crecimiento poblacional para los estados costeros de México. *Papeles de Población*, 13: 6.
- Baike, 2018. Baike, Pelamis [online]. Available: <http://www.baike.com/wiki/%E6%B5%B7%E8%9B%87> [accessed 18 June 2019]. [WWW Document].
- Bedard, R., 2011. Economic and Social Benefits of ICT 1–21.
- Boehlert, G.W., y A.B. Gill, 2010. Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development. *Oceanography*, 23: 68–81. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.46>
- Bonar, P.A.J., I.G. Bryden, Iy A.G.L. Borthwick, 2015. Social and ecological impacts of marine energy development. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.068>
- Carmona Lara, M. C., 2009. Porqué requerimos. *Polit. y Gestión Ambient*, 31–34.
- CIMARES, 2011. Política nacional de mares y costas de México: gestión integral de las regiones más dinámicas del territorio nacional. México Com. Intersectorial para el Manejo Sustentable Mares y Costas 97.
- Cleantechnica, 2011. Tidal array off the coast of France will be world's largest when complete in 2012. <http://cleantechnica.com/2011/11/14/worlds-largest-tidal-power-array-offfrench-coast/> [accessed on 17 June 2019]. [WWW Document].
- ClimateTechWiki, 2019. Ocean Energy: Salinity gradient for electricity generation <<http://www.climatechwiki.org/technology/jiqweb-ro>> [Accesado en 1 de julio de 2019] [WWW Document].
- CONAPO, 2012. Índices de Marginación | Consejo Nacional de Población CONAPO [WWW Document]. Segob.
- CONEVAL, 2011. Medición de la pobreza en los municipios de México, 2010 1–39.
- CONEVAL, 2013. Informe de pobreza y evaluación. Veracruz, 2012-2013. Cons. Nac. Evaluación la Política Desarro. Soc.
- Corporación Financiera Internacional (IFC), 2012. Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social 55.
- Dalton, G., G. Allan, N. Beaumont, A. Georgakaki, N. Hacking, T. Hooper, S. Kerr, A.M. O'Hagan, K. Reilly, P. Ricci, W. Sheng, y T. Stallard, 2015. Economic and socio-economic assessment methods for ocean renewable energy: Public and private perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 45: 850–878. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.068>
- Delgado, S., A. Ramos, R. Cañas, y A. Ortiz, 2016. ANEXO C. Análisis legal comparativo entre las mejores prácticas internacionales y el panorama nacional para el aprovechamiento de energías del océano, in: SENER-BID, P. (Ed.), Mapeo y determinación de los lineamientos y normatividad para el otorgamiento de permisos para proyectos de energías del océano. Academia Mexicana de Derecho Ambiental, A.C.
- Ecomerit, 2010. Ecomerit Technologies, Centipod [online]. Available: <http://www.ecomerittech.com/centipod.php> [accessed 18 June 2019]. [WWW Document].
- Emdadi, A., P. Gikas, M. Farazaki, e Y. Emami, 2016. Salinity gradient energy potential at the hyper saline Urmia Lake - Zarrineh Rud River system in Iran. *Renew. Energy*, 86: 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.015>
- FAO, 2014. Manejo de las Áreas Marino Costeras Protegidas para garantizar medios de vida sustentables y seguridad alimentaria. 228.
- Frid, C., E. Andonegi, J. Depestele, A. Judd, D. Rihan, S.I. Rogers, y E. Kenchington, 2012. The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 32: 133-139. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.002>
- Gobierno de México, 2019. Plan de Desarrollo Nacional 2019 - 2024.
- Haxel, J.H., R.P. Dziak, y H. Matsumoto, 2011. Obtaining baseline measurements of ocean ambient sound at a mobile test berth site for wave energy conversion off the central Oregon coast. *Ocean. - MTS/IEEE Kona, Progr. B.* 0–4.

- Hernández-Fontes, J.V., A. Felix, E. Mendoza, Y.R. Cueto, y R. Silva, 2019. On the Marine Energy Resources of Mexico. *J. Mar. Sci. Eng.*, 7: 191. <https://doi.org/10.3390/jmse7060191>
- Huckerby, J., H. Jeffrey, J. Sedgwick, B. Jay, y L. Finlay, 2012. An international vision for Ocean energy- version II. Ocean Energy Syst. Implement. Agreem. 20.
- II-UNAM, n.d. Ocean Thermal Energy Conversion <http://proyectos2.iingen.unam.mx/IIDEA/otec_plants.html> [Accesado el 26 de junio de 2019]. [WWW Document].
- Kularathna, A.H.T.S., S. Suda, K. Takagi, y S. Tabeta, 2019. Evaluation of co-existence options of marine renewable energy projects in Japan. *Sustain.* 11. <https://doi.org/10.3390/su11102840>
- Lara-Lara, J., 2008. Los ecosistemas marinos. Cap. Nat. México I, 135–159.
- Lee, J.H., y M.M Bernitsas, 2011. High-damping, high-Reynolds VIV tests for energy harnessing using the VIVACE converter. *Ocean Eng.* 38, 1697–1712. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.06.007>
- Leeney, R.H., D. Greaves, D. Conley, y A.M. O'Hagan, 2014. Environmental Impact Assessments for wave energy developments - Learning from existing activities and informing future research priorities. *Ocean Coast. Manag.*, 99: 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.05.025>
- Liu, H., Z. Li, y Y. Zhang, 2018. Offshore Geotechnical Problems in Deepwater Mooring Techniques for Large Floating Structures. *Am. J. Eng. Appl. Sci.*
- Melikoglu, M., 2018. Current status and future of ocean energy sources: A global review. *Ocean Eng.*, 148: 563–573. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.045>
- Mesta-Fernández, M.E., 2017. Bases para el desarrollo de la Ciencias de la Ocupación 19.
- Naciones Unidas, 2012. Río de Janeiro (Brasil) 20 a 22 de junio de 2012. Rio+20 Conf. las Nac. Unidas Sobre el Desarro. Sosten. 38167, 1–59.
- Neumann, F., P. Stenzel, P. Hack, O. Skramesto, O. Schaetzle, I. Genné, E. Brauns, y F. Lienard, 2011. Salinity Gradient Power in Europe: State of the Art <<http://salinitygradientpower.eu/wp-content/uploads/2011/08/workshop-report-EUSEW.pdf>> [Accesado 1 de julio de 2019].
- Nihous, G.C., 2005. An Order-of-Magnitude Estimate of Ocean Thermal Energy Conversion Resources. *J. Energy Resour. Technol.*, 127: 328. <https://doi.org/10.1115/1.1949624>
- OES, 2017. Fisheries Interactions with Marine Renewable Energy Development _ Tethys [WWW Document]. Webinar #13 Annex IV Environ. Webinar Ser. Spons. by Ocean Energy Syst.
- Olsen, S., y E. Ochoa, 2007. El Porqué y el Cómo de una Línea de Base para Gobernanza en los Ecosistemas Costeros. *Science*, 80(358): 31. <https://doi.org/10.1126/science.358.6359.76-a>
- ParisAgreement, 2015. Paris Agreement, 12 December 2015 <<https://treaties.un.org/doc/Publication/MTDSG/Volume%20II/Chapter%20XXVII/XXVII-7-d.en.pdf>> [Accessed 15 June 2019].
- Rostami, A.B., y M. Armandei, 2017. Renewable energy harvesting by vortex-induced motions: Review and benchmarking of technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 70: 193–214. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.202>
- Rourke, F.O., F. Boyle, y A. Reynolds, 2010. Tidal energy update 2009. *Appl. Energy*, 87: 398–409. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.014>
- Schramm, M.P., M. Bevelhimer, y C. Scherelis, 2017. Effects of hydrokinetic turbine sound on the behavior of four species of fish within an experimental mesocosm. *Fish. Res.*, 190: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.01.012>
- SEMARNAT, 2012. Antecedentes _ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [WWW Document].
- SEMARNAT & INECC, 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Inf. CICC p.8.
- Secretaría de Energía (SENER), 2018. Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- United Nations (UN), 2015. 7 Affordable and Clean Energy [WWW Document]. *Sustain. Dev. Goals*.
- Vierros, M., 2017. La gobernanza marina mundial y la ordenación de los océanos para el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible 14. Crónica ONU.
- Warren, C.R., C. Lumsden, S. O'Dowd, y R.V. Birnie, 2005. “Green on green”: Public percep-

- tions of wind power in Scotland and Ireland. *J. Environ. Plan. Manag.*, 48: 853–875. <https://doi.org/10.1080/09640560500294376>
- Windpower, n.d. Foundations that float <<https://www.windpowerengineering.com/projects/offshore-wind/foundations-that-float/>> [Accesado el 28 de junio de 2019] [WWW Document].
- Wordpress, 2009. Wordpress, Pelamis-wave-power [online]. Available: <https://mendocoastcurrent.wordpress.com/tag/pelamis-wave-power/> [accessed 18 June 2019].
- Yuce, M.I., y A. Muratoglu, 2015. Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 43: 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.037>
- Zhang, H., y G.A. Aggidis, 2018. Nature rules hidden in the biomimetic wave energy converters. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 97: 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.018>
- Zhou, Z., M. Benbouzid, J.F. Charpentier, F. Scuiller, y T. Tang, 2017. Developments in large marine current turbine technologies – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 71: 852–858. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.113>

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Evaluación del impacto social de los proyectos de generación de energía eléctrica: propuesta metodológica para la construcción de los índices de la línea base

C. Vázquez-González y F. F. Bonilla Fernández

Resumen

Actualmente, en México la Evaluación de Impacto Social (EIS) ha cobrado relevancia en los proyectos de generación de energía eléctrica debido al nuevo marco legal e institucional que se aprobó con la reforma energética en el 2013 y en sus respectivas leyes secundarias del 2014. La EIS es un proceso dinámico que tiene diferentes implicaciones según el área de estudio y el tipo de proyecto de generación de energía eléctrica. Por esta razón, la Comisión Nacional de Mejora Regulatoria (COFEMER)

publicó en marzo del 2015 las “Disposiciones administrativas de carácter general sobre la evaluación de impacto social en el sector energético” y en el 2018 se publicó una nueva edición de las Disposiciones Administrativas de la EIS en el Diario Oficial de la Federación. Aun cuando hubo avances sustantivos entre las dos ediciones, la guía publicada y tomada por la SENER para emitir resolutivos –2018, actualmente–, muestra una falta de claridad en la metodología para construir el índice sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural para establecer la línea base –antes del desarrollo y construcción de los proyectos– y poder monitorizar los posibles impactos positivos y negativos de éstos. Si bien, se muestra un listado de las variables mínimas a considerar, éstas no necesariamente reflejan la situación real y crítica a nivel local, sobre todo en las zonas rurales en donde se desarrollan los proyectos; así como aspectos de la gobernanza que necesitan ser incorporados para desarrollar los proyectos en armonía social y en un marco de respeto a la población de las localidades, a sus usos y costumbres y a sus tradiciones. El objetivo del presente capítulo es construir una propuesta metodológica para la integración del índice sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural a nivel local para las EIS y la incorporación de variables que reflejen aspectos como la gobernanza local. Por esta razón, se realizó una revisión de ambas guías publicadas en materia de la EIS con base en: 1) la integración de variables que conforman la línea base a nivel local, y 2) la metodología de construcción de los índices que integran la línea base.

Palabras clave: área de influencia, energía limpia, sistemas fotovoltaicos, sociodemográfico, socioeconómico, sociocultural.

Introducción

Los proyectos de generación de energías “limpias” tal como los sistemas fotovoltaicos (granjas solares) son necesarios debido a la necesidad de reducir las emisiones de carbono a la atmósfera (IPCC, 2014), para cumplir con el Acuerdo de París en Naciones Unidas (2015) y cubrir el crecimiento de la demanda energética en México (SENER, 2017). Sin embargo, su desarrollo, construcción y puesta en operación, puede generar múltiples conflictos sociales y ambientales, los cuales pueden ocasionar la erosión del tejido social; haciendo mella en los valores, costumbres y perspectivas de la población debido a la falta de la incorporación de la gobernanza de las comunidades

in situ, tal y como ha sucedido con el desarrollo y construcción de los parques eólicos en la zona conocida como la Ventosa, Oaxaca (Juárez-Hernández y León, 2014).

En el 2013 se aprobó la reforma energética, la cual dio paso a un nuevo marco regulatorio con base en la Ley de la Industria Eléctrica (DOF, 2014a) (LIE) y sus reglamentos. La finalidad de su implementación, en el contexto eléctrico, fue permitir y regular la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica para su venta y su comercialización a través del mercado eléctrico mayorista (MEM). Para dar un sustento ambiental-global al nuevo marco regulatorio y al esquema de genera-

ción de energía eléctrica, el 24 de diciembre del 2015 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Transición Energética (DOF, 2015). Mientras que en el contexto social y local, bajo este nuevo marco regulatorio se consideraron aspectos como: 1) la estimación de impactos acumulativos y la construcción de una línea base socioeconómica de las localidades que se encuentran en el Área de Influencia del proyecto (IFC, 2015), 2) las políticas de salvaguardias ambientales y sociales en las comunidades en donde se desarrollan los proyectos de inversión (World Bank, 2008), 3) los principios internacionales para la EIS (Vanclay, 2003; Esteves *et al.*, 2012; Vanclay *et al.*, 2015), 4) las consultas previas para la participación de las partes interesadas en los proyectos de inversión (BID, 2013) y 5) la figura de la consulta previa en materia de los pueblos indígenas (DOF, 2014a) con base en el Convenio 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales en países independientes (CDI, 2003). Estos aspectos, entre otros, fueron integrados a la Ley de la Industria Eléctrica en el DOF (2014) y puestos como una guía para las Disposiciones Administrativas de la COFEMER (2015); sin

embargo, no fue hasta el 2018 cuando fueron publicadas en el DOF (2018).

Si bien es cierto, entre la guía propuesta por la COFEMER (2015) y la publicada por el DOF (2018), hubo cambios y adiciones sustantivas, existe un vacío metodológico y de integración tanto en la construcción de la línea base a nivel local como en la construcción del índice sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural. Además, los indicadores y los índices expuestos como parte de la línea base, omiten características esenciales y particulares de las comunidades como la gobernanza en el manejo de los recursos naturales, en la toma de decisiones y en la resolución de las problemáticas sociales. El objetivo del presente capítulo es construir una propuesta metodológica para la integración del índice sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural a nivel local para las EIS en el contexto de la gobernanza de las comunidades. Por esta razón, se realizó una revisión de ambas guías publicadas en materia de la EIS con base en: 1) la integración de variables que conforman la línea base a nivel local, y 2) la metodología de construcción de los índices que integran la línea base.

Breve contexto internacional

Definida como el proceso de manejo de los temas sociales asociados con la intervención planificada, la Evaluación de Impacto Social (EIS) es un campo de investigación y una práctica que tiene sus orígenes dentro de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en inicios de los años setenta. Originalmente surgió con el objetivo de aterrizar los posibles impactos ambientales de

los proyectos, en términos estrictamente antropocéntricos; sin embargo, su análisis y detalle eran parte de una formalidad “en papel” a diferencia de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en los Estados Unidos (Esteves *et al.*, 2012). Más tarde tomó un camino separado tanto para su análisis como para su evaluación, en este sentido, la EIS trata –generalmente– de anticipar los

impactos de los proyectos sobre la forma de vida y el bienestar de las comunidades locales (Freudenburg, 1986).

Actualmente, las EIS están basadas en principios internacionales como la licencia social para operar (Bice y Moffat, 2014), el consentimiento libre, previo e informado (CDI, 2003), el enfoque basado en los derechos humanos (Vanclay *et al.*, 2015), la debida diligencia en materia de derechos humanos (ver <http://www.icmm.com/document/3308>), los riesgos no técnicos (Margolis y Walsh, 2003), el riesgo social (Igwe y Mnim, 2013), los acuerdos de impactos y beneficios (Becker y Vanclay, 2003), los medios de subsistencia sostenibles (Esteves *et al.*, 2012), el valor compartido y los principios de Ecuador (Vanclay *et al.*, 2015). Estos principios son parte del espíritu y de la base que define a la EIS como “los procesos de análisis, monitoreo y gestión de las consecuencias sociales voluntarias e involuntarias de las intervenciones planeadas (políticas, programas, planes, proyectos) y de todo proceso de cambio social invocado por dichas intervenciones” (Vanclay *et al.*, 2015). Aunque explícitamente no se establece la incorporación de conceptos, por lo menos en la práctica, de la gobernanza, las EIS como un proceso de mediación entre los desarrolladores y las

comunidades, requieren de la incorporación de indicadores e índices que permitan a las EIS mostrar el grado o nivel de gobernanza en la resolución de conflictos o toma decisiones con la finalidad de asegurar el respeto a las prácticas sociales de las comunidades.

Debido al amplio espectro de los principios internacionales de la EIS, ésta es considerada no solamente como un instrumento, sino como un proceso dinámico en el cual intervienen especialistas de diferentes disciplinas como la sociología, la antropología, la demografía, los estudios de desarrollo, los estudios de género, la geografía social y cultural, la economía, la ciencia política y los derechos humanos, y las leyes ambientales, entre otras disciplinas (Esteves *et al.*, 2012). Aunque resulta complejo integrar indicadores e índices que reflejen aspectos de la gobernanza de las comunidades, lo cierto es que, el liderazgo participativo y con atención en las comunidades, los compromisos internos de las comunidades y externos hacia los proyectos, así como la comunicación y retroalimentación entre promoventes, comunidades y tomadores de decisiones, son puntos esenciales para asegurar tanto el desarrollo armónico de los proyectos como el respeto a la población local.

En el contexto mexicano (marco regulatorio)

En el 2013 se aprobó la reforma energética, la cual, entre otras generalidades, dio paso a un nuevo marco regulatorio sobre la base de la Ley de la Industria Eléctrica (lie) (dof, 2014a) y sus leyes y reglamentos secundarios, con la finalidad de permitir al

sector privado generar energía eléctrica en México para su venta y comercialización a través del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), entre otros esquemas. Uno de los instrumentos y procesos más importantes dentro del nuevo marco regulatorio basado

en la Ley de la Industria Eléctrica en el DOF (2014), fueron la EIS y las “Disposiciones Administrativas de Carácter General sobre la Evaluación de Impacto Social en el Sector Energético” en la COFEMER (2015); sin embargo, no fue hasta el 2018 cuando fueron publicadas en el DOF (2018).

Las leyes secundarias de la reforma energética incorporaron dentro de sus instrumentos normativos de gestión a la EIS y a la consulta previa, libre e informada (DOF, 2014a, 2014b); bajo el principio de sostenibilidad y el enfoque de derechos humanos. Tanto la EIS como la consulta previa son instrumentos que se complementan debido a su relación con el proceso de aceptación y apropiación social del proyecto. La EIS es entendida por el marco regulatorio mexicano como “*la identificación, caracterización, predicción y valoración de las consecuencias a la población que podrían derivarse del mismo y las medidas de mitigación y los planes de gestión social*” (DOF, 2014a), mientras que la consulta previa es el proceso por medio del cual, las comunidades y pueblos tribales pueden identificar, entender y analizar los escenarios y consecuencias del desarrollo, construcción y operación de un proyecto, de tal forma que puedan tomar la decisión más adecuada en función de los intereses de la comunidad y del continuo y desarrollo de su cultura (CDI, 2003). A pesar de la importancia de ambos procesos, el presente capítulo se enfoca en la propuesta metodológica para la construcción del índices sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural en el contexto de la gobernanza para la línea base de las comunidades en el Área Núcleo, en el Área de Influencia Directa y en el Área de Influencia Indirecta de los proyectos de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos.

Línea base de la EIS: disposiciones administrativas de la COFEMER

Variables sociodemográficas

La tabla 1 muestra el compendio de indicadores y variables sociodemográficas, socioeconómicas y socioculturales incluidas para responder a las Disposiciones Administrativas de la EIS en la COFEMER (2015). Derivado de lo anterior, el índice sociodemográfico está integrado por los siguientes indicadores:

- I. Población;
- II. Distribución de la población;
- III. Migración;
- IV. Hogares y familias;
- V. Educación;
- VI. Servicios de salud, y;
- IX. Vivienda.

Como se puede observar, la lista de los indicadores en la guía de la COFEMER (2015), no estableció de manera ordenada la estructura y conformación del índice sociodemográfico, por lo cual, es complejo llevar el hilo en la integración, descripción y análisis con la finalidad de establecer una línea base y punto de referencia de las localidades. Además, existen subíndices como la migración y la distribución de la población que deben ser separadas ya que no existen datos precisos para su análisis a nivel local, y generalmente deben ser levantadas en campo durante el proceso de elaboración de la EIS; además, estos indicadores se encuentran en un apartado distinto al contexto de la gobernanza local y el manejo de las instituciones locales que muchas veces son creadas consuetudinariamente por las poblaciones locales.

Aunque la COFEMER (2015) planteó los temas sociodemográficos para integrar el

Tabla 1. Indicadores de la línea base, variables, escala espacial de análisis y fuentes de información utilizados para responder a la guía de la COFEMER (2015).

Subíndices de la línea base	Variables	Escala espacial de análisis		Fuente
		Municipal	Localidad	
I. Población.	Tamaño.	x	x	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
	Estructura.	x	x	
	Crecimiento.	x	x	
	Proyección.	x	x	
II. Distribución de la población.	Número de localidades.	x	-	Proyección de la población en el CONAPO (2014).
	Grado de urbanización.	x	x	
III. Migración.	Tasa neta anual migratoria.	x	x	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
	Jefatura por hogar.	x	x	
IV. Hogares y familias.	Condición económica de los jefes de hogar.	x	-	Índice de marginación por municipio en el CONAPO (2010).
	Analfabetismo.	x	-	
V. Educación	Analfabetismo.	-	x	Índice de Marginación por Localidad en el CONAPO (2010).
	Grado de escolaridad.	x	x	
VI. Servicios de salud.	Personas derechohabientes.	x	x	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
VII. Trabajo y condiciones laborales.	Población ocupada por trabajo.	x	-	
	Población ocupada y distribución del ingreso.	x	-	
	Población económicamente activa y ocupada	-	x	
VIII. Seguridad social.	Acceso a la seguridad social.	x	-	Composición del índice de pobreza en el CONEVAL (2010).
	Ingreso menor a la línea de bienestar mínimo.	x	-	
	Ingreso para alimentos.	-	x	
	Ingreso para salud.	-	x	
	Ingreso para vestido.	-	x	
IX. Vivienda.	Viviendas particulares habitadas 2005-2010.	x	x	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
	Ocupantes en viviendas sin drenaje.	x	-	
	Viviendas sin drenaje.	-	x	Índice de marginación por municipio y por localidad en el CONAPO (2010).
	Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica.	x	-	
	Ocupantes en viviendas sin agua entubada.	x	-	
	Viviendas sin agua entubada.	-	x	
	Viviendas con hacinamiento.	x	-	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
	Ocupantes promedio por cuarto.	-	x	

Tabla 1. Indicadores de la línea base, variables, escala espacial de análisis y fuentes de información utilizados para responder a la guía de la COFEMER (2015).

Subíndices de la línea base	Variables	Escala espacial de análisis		Fuente
		Municipal	Localidad	
X. Seguridad y orden público.	Delitos procesados por Entidad Federativa.	x	-	Información de seguridad pública en el INEGI (2019).
XI. Nivel y distribución de ingresos.	Ingreso: hasta dos salarios mínimos.	x	-	Índice de marginación por municipio y por localidad en el CONAPO (2010).
	Ingreso per cápita.	x	-	PNUD-ONU 2000 y PNUD-ONU (2010).
XII. Sector primario.	Población ocupada.	x	-	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
	Jefes de hogar ocupados en el sector.	-	x	
XIII. Sector secundario.	Valor de la producción bruta total en el sector.	x	-	Censos económicos en el INEGI (2009) e INEGI (2014).
	Población ocupada.	x	-	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
Jefes de hogar ocupados en el sector.	-	x		
XIV. Sector terciario.	Valor de la producción bruta total en el sector.	x	-	Censos económicos en el INEGI (2009) e INEGI (2014).
	Población ocupada.	x	-	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
Jefes de hogar ocupados en el sector.	-	x		
XV. Finanzas públicas locales.	Valor de la producción bruta total en el sector.	x	-	Censos económicos en el INEGI (2009) e INEGI (2014).
	Ingreso y egresos públicos.	x	-	INEGI (2019a).
Crecimiento del ingreso y egreso público.	x	-		
Participaciones federales	x	-		
XVI. Patrimonio tangible e intangible.	Aportaciones federales	x	-	CONACULTA (2015).
	Patrimonio de la humanidad.	x	x	
	Zonas arqueológicas.	x	x	
	Monumentos históricos.	x	x	
	Museos.	x	x	
XVII. Dinámica social de la comunidad.	Patrimonio cultural inmaterial.	x	x	Censo general de población y vivienda del INEGI (2010).
	Religión.	x	-	

x: existe información. -: no existe información.

análisis de la línea base, no establecieron qué y cuáles variables se deben incluir con exactitud para construir los subíndices mostrados en la tabla 1; además, tampoco se incluyeron los criterios para determinar qué y cuáles indicadores y variables tenían que ser incluidas como sociodemográficas, socioeconómicas y socioculturales. Por tal motivo, el criterio de conformación de los índices sociodemográficos, socioeconómicos y socioculturales, quedaron prácticamente a la libre consideración de las personas que elaboran las EIS y participan en dicho proceso.

Variables socioeconómicas

En el caso del índice socioeconómico, la guía de la COFEMER (2015) consideró los siguientes indicadores en la tabla 1:

- VII. Trabajo y condiciones laborales;
- VIII. Seguridad social;
- XI. Nivel y distribución de ingresos;
- XII. Sector primario;
- XIII. Sector secundario, y;
- XIV. Sector terciario.

Con respecto al índice socioeconómico, existen divergencias en la forma de construir los indicadores como el trabajo y las condiciones sociales. Lo mismo sucede en el caso de las variables que deben ser incluidas dentro de la seguridad social y en los datos que deben ser considerados como parte del indicador del nivel y distribución del ingreso. Esto es resultado de: 1) las diferentes clasificaciones del Censo General de Población y Vivienda en el INEGI (2010), 2) el nivel de desagregación de las bases de datos como el PNUD-ONU (2000, 2010), y 3) la falta de criterios en la guía de la COFEMER (2015) para establecer con precisión las variables de los ingresos y su distribución bajo las cuales deben ser integrados los indicadores económicos. Por ejemplo,

en el caso de las variables que pueden ser incluidas para el análisis de los indicadores por sector de la economía, existen diferentes parámetros bajo los cuales puede ser analizada la actividad económica a nivel local, municipal y por entidad federativa. Sin embargo, a nivel local en el ámbito rural, es necesario tener un mayor nivel de acercamiento; por ejemplo, considerar al hogar como la unidad de análisis y marcos analíticos como los capitales y medios de vida en Ellis (1999, 2000) y Ellis y Freeman (2005), quienes plantean una clasificación y agrupación de los capitales en: humano, físico, financiero, social y natural.

Variables socioculturales

El índice sociocultural, sus indicadores y las variables que deben conformarlos son los más complejos debido a sus características cualitativas y de interpretación bajo los cuales pueden ser considerados, dependiendo del enfoque de análisis de cada participante en el proceso de elaboración de la EIS. Debido a esto, la guía de la COFEMER (2015), estableció como criterios de selección para el índice sociocultural, los indicadores siguientes (tabla 1):

- XVI. Patrimonio tangible e intangible, y;
- XVII. Dinámica social de la comunidad.

En este caso, las variables de los indicadores de patrimonio tangible e intangible; así como de la dinámica social de la comunidad, son aquellas determinadas por el Instituto Nacional de Antropología e Historia y el extinto CONACULTA, hoy convertido en la Secretaría de Cultura, los cuales se muestran en la Tabla 1. Sin embargo, considerar sólo la existencia o no, de monumentos arqueológicos, museos, vestigios, así como cuestiones relacionadas con la infraestruc-

tura física referente a civilizaciones del pasado, acota los criterios para determinar el nivel sociocultural de una región o localidad. Por tal motivo, se considera que la dinámica social de la comunidad, puede ser determinada por las religiones, las fiestas y las tradiciones que en muchos casos son consideradas dentro del patrimonio intangible de las regiones (ver <https://www.gob.mx/cultura>). Además, no refleja los aspectos como la gobernanza por redes, la gobernanza multinivel o transversal y la gobernanza proyectiva, ésta última que tiene que ver con los procesos que deben darse para lograr un proyecto exitoso tal y como lo señalaron Becker *et al.* (2003).

Línea base de la EIS: disposiciones administrativas del DOF

Variables sociodemográficas

A diferencia de la COFEMER (2015) que estableció los indicadores a partir de los cuales podían seleccionarse diferentes variables para integrar la línea base del índice sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural, las Disposiciones Administrativas del DOF (2018) muestran un listado preciso de variables que deben ser consideradas para integrar y describir las condiciones de cada una de las localidades. Dentro de las diferencias que más resaltan son las siguientes:

- La Disposiciones Administrativas del DOF (2018), sólo generan un listado y lo proponen con base en los ITER del Censo General de Población y Vivienda del INEGI, mientras que las Disposiciones Administrativas de la COFEMER (2015) propusieron el análisis a nivel municipal y local;
- Las Disposiciones Administrativas del DOF (2018), son más precisas en la propuesta de las variables a utilizar para los índices sociodemográficos y socioeconómicos; sin embargo, al igual que las Disposiciones de la COFEMER (2015), carecen de un criterio metodológico para construir un índice matemático que genere un punto de referencia y línea base para los índices, y de esta forma, se pueda medir o tratar de modelar los posibles impactos positivos y negativos que tendrá el desarrollo de un proyecto de generación de energía eléctrica sobre las condiciones sociodemográficas, socioeconómicas y socioculturales de las localidades.
- En las dos versiones de las Disposiciones Administrativas se omiten características fundamentales como la gobernanza la local tanto institucional como proyectiva. Esto implica que los indicadores socioculturales e institucionales carezcan de un enfoque que abarque perspectivas como las instituciones locales, las redes sociales locales y estructuras de capital social como la confianza construida al interior de las localidades. Este punto resulta esencial ya que estudios como Natera-Peral (2005) muestran características configurados de la red de gobernanza a partir de las instituciones locales y estructuras de confianza dentro de la comunidad, las cuales sirven como puente en la relación Estado-Sociedad. Por tal motivo, considerar indicadores sociales como las redes y estructuras de trabajo resulta imperativo, sobre todo, en proyectos a gran escala cuya Área de Influencia puede abarcar varias comunidades o regiones.

A pesar de que se establecen variables con base en los ITER del INEGI, éstas no aparecen de forma ordenada y direccionadas hacia algún tipo de indicador sociodemográfico, por tal motivo, el criterio de análisis y de integración depende de quienes participen en el proceso de la EIS. Esto deja un vacío en el momento de construir el índice sociodemográfico y permite que los indicadores y subíndices sean ponderados sin un criterio establecido por las Disposiciones Administrativas del DOF (2018).

VARIABLES SOCIOECONÓMICAS

En el caso del índice socioeconómico, de sus indicadores y variables que deben integrarlo, las Disposiciones Administrativas del DOF (2018) mezclan los indicadores económicos como la población económicamente activa y la población ocupada con indicadores que reflejan los conflictos y problemas sociales en las localidades (tabla 2). Esto resulta contradictorio, ya que integrar elementos que pertenecen a diferentes rubros puede resultar en una subestimación de los indicadores económicos a nivel local. En este sentido, las Disposiciones Administrativas de la COFEMER (2015) establecían de forma separada y ordenada, o por lo menos como un listado, los indicadores económicos de los sociales, los socioculturales y los posibles problemas derivados de la tenencia de la tierra; sin embargo, las nuevas Disposiciones carecen de estos elementos. Dentro de las principales diferencias, en materia del índice socioeconómico, entre las Disposiciones Administrativas de la COFEMER (2015) y las del DOF (2018), se pueden señalar las siguientes:

- **Los conflictos por la tenencia de la tierra.** El DOF (2018) integra esta variable cuyo lugar corresponde a un índice estrictamente social o de estabilidad

social por las relaciones locales entre diferentes regímenes de propiedad de la tierra. Al respecto, esta variable debería ser integrada dentro del apartado del Índice Social o Sociocultural ya que muestra las amenazas externas al proyecto que proviene de conflictos previos a la realización de las grandes obras de infraestructura eléctrica.

- **Conflictos por la delincuencia.** El DOF (2018) incluye los conflictos por la delincuencia dentro del índice económico de las localidades. Si bien es cierto, existe evidencia y diferentes estudios que muestran una correlación directa entre la existencia de conflictos por la delincuencia y el nivel socioeconómico de las localidades o regiones, la Disposiciones Administrativas del DOF (2018) no establecen los criterios técnicos de integración y de análisis de correlación entre los conflictos por la delincuencia y el índice socioeconómico de una localidad o región.
- **Infraestructura.** Las Disposiciones Administrativas del DOF (2018) establecen las variables que muestra el nivel de infraestructura de las localidades o regiones, las cuales no fueron consideradas por las Disposiciones Administrativas de la COFEMER (2015). En este sentido, resulta adecuado considerar la infraestructura dentro del análisis de la EIS, ya que es una variable que determina la posibilidad del desarrollo de los proyectos de generación, además de visualizar diferentes impactos positivos y negativos por el desarrollo de los proyectos. Sin embargo, las actuales Disposiciones Administrativas no proponen con precisión en qué índice deben ser incluidas dichas variables.

Tabla 2. Temas sociodemográficos, socioeconómicos y socioculturales, así como las variables que los integran con base en la guía del DOF (2018).

Temas	Variables	Abreviatura en los ITER del Censo General de Población y Vivienda del INEGI
Población: características generales de la población	Población total, desagregada por sexo.	POBTOT
	Relación hombres-mujeres.	REL_H_M
	Población de cero a 14 años.	POB0_14
	Población de 15 a 64 años.	POB15_64
	Población de 65 años y más.	POB65_MAS
	Población nacida en la entidad, desagregada por sexo.	PNACENT
	Población nacida en otra entidad, desagregada por sexo.	PNACOE
	Población de 3 años y más que habla una lengua indígena, desagregada por sexo.	P3YM_HLI
	Población de 3 años y más que habla lengua indígena y no habla español, desagregada por sexo.	P3HLINHE
	Población con y sin limitación en la actividad.	PCON_LIM
	Población de 15 años y más analfabeta, desagregada por sexo.	P15YM_AN
	Población de 15 años y más sin escolaridad, desagregada por sexo.	P15YM_SE
	Grado promedio de escolaridad.	GRAPROES
	Población sin derechohabencia a servicios de salud.	PSINDER
Características económicas y sociales de la población y actividades económicas	Principal actividad económica.	ACTECO1
	Segunda actividad económica.	ACTECO2
	Población económicamente activa, desagregada por sexo.	PEA
	Población no económicamente activa, desagregada por sexo.	PE_INAC
	Población ocupada, desagregada por sexo.	POCUPADA
	Población desocupada, desagregada por sexo.	PDESOCUP
	Principales cultivos.	N/A
	Conflictos por propiedad de la tierra.	CONFLICTO1
	Conflictos por delincuencia.	CONFLICTO4
	Problema principal.	PROBLEMA
Infraestructura	Conexión a carretera.	CARRETERA
	Tiempo de traslado a la cabecera municipal.	TIEMPO
	Red de agua potable.	REDAGUA
	Clínica o centro de salud.	SALUD1
	Biblioteca.	RECCUL1
	Casa de la cultura.	RECCUL2
	Cancha deportiva.	RECCUL3

Tabla 2. Temas sociodemográficos, socioeconómicos y socioculturales, así como las variables que los integran con base en la guía del DOF (2018).

Temas	Variables	Abreviatura en los ITER del Censo General de Población y Vivienda del INEGI
Infraestructura.	Escuela preescolar.	ESCUELA1
	Escuela primaria.	ESCUEL23
	Escuela secundaria o telesecundaria.	ESCUELA4
	Hogares censales.	TOTHOG
Hogares y viviendas.	Hogares censales con jefatura femenina.	HOGJEF_F
	Viviendas.	VIVTOT
	Viviendas particulares habitadas.	TVIVPARHAB
	Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas.	PROM_OCUP
	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra.	VPH_PISOTI
	Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica.	VPH_C_ELEC
	Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda.	VPH_AGUADV
	Viviendas particulares habitadas que disponen de excusado o sanitario.	VPH_EXCSA
	Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje.	VPH_DRENAJ
	Viviendas particulares habitadas con luz eléctrica, agua entubada de red pública y drenaje.	VPH_C_SERV
	Viviendas particulares habitadas sin ningún bien.	VPH_SNBIEN
Características económicas y sociales de la población y actividades económicas	Estos indicadores están inmersos en los puntos de Actividad primaria y Secundaria que se obtienen con los ITER del Censo General de Población y Vivienda en el INEGI.	N/A
Descripción del entorno y patrimonio socio ambiental de la Comunidad	Describe los rasgos socioculturales de las comunidades que se ubican en el Área Núcleo y el Área de Influencia Directa, así como los elementos relacionados con la forma de vida de las mujeres y los hombres integrantes de la Comunidad, que incluya aspectos sobre su cultura, costumbres, valores y creencias; así como elementos relacionados con la gobernanza de las Comunidades, la cohesión y capital social de las Comunidades, aspectos relativos a la seguridad ciudadana, así como a las formas de participación social y política.	N/A
Descripción de rasgos socioculturales y de la forma de vida	Describe el entorno en el que se desarrollará el Proyecto, considerando el patrimonio social y ambiental de las Comunidades ubicadas en el Área Núcleo y en el Área de Influencia Directa, los recursos naturales que ésta utiliza, así como sus condiciones de desarrollo humano.	N/A

Variables socioculturales

Con respecto a las variables socioculturales, las Disposiciones Administrativas del DOF (2018) incluyen elementos como la descripción del entorno y patrimonio socioambiental de la Comunidad y la descripción de rasgos socioculturales y de la forma de vida de las comunidades rurales; sin embargo, no establecieron los linea-

mientos específicos acerca de las variables que pueden ser consideradas entre de estos componentes; por tal motivo, para la elaboración y el desarrollo del proceso de la EIS, se siguen considerando los anteriores elementos socioculturales que se integran en las disposiciones administrativas de la COFEMER (2015).

Propuesta de selección de variables para la línea base

Índice sociodemográfico

El índice sociodemográfico tiene el objetivo de explicar la situación de una localidad o conjunto de localidades urbanas, peri-urbanas y rurales a partir de los siguientes subíndices (tabla 3):

- **I Población.** Tiene el objetivo de mostrar el comportamiento del tamaño poblacional y su estructura, es decir, la edad de la población expresada en grupos quinquenales, de tal manera que se pueda evaluar a la localidad en función de su estructura poblacional, además, conocer la tendencia del crecimiento de la población y determinar en el largo plazo los posibles impactos positivos y negativos del desarrollo de un proyecto de generación de energía eléctrica.
- **II Distribución de la población.** Su objetivo es evaluar la dispersión de la población en función del tipo de localidad, así como el tamaño de cada una de las localidades en el área de influencia del proyecto.
- **III Migración.** El objetivo es mostrar el comportamiento de la entrada y la salida de habitantes en las localidades, y describir el costo en el mediano y en el largo plazo del desarrollo de los proyectos de generación de energía en función de la disponibilidad de mano de obra.
- **IV Hogares y viviendas.** El objetivo de este subíndice es mostrar el estado actual de la condición de los hogares y las viviendas a partir de indicadores como: la jefatura de hogar, el estado civil de los jefes de hogar, los servicios públicos de las viviendas en donde se desarrollan los hogares.
- **V Educación.** El objetivo es describir el grado de educación de las localidades a

partir de indicadores como: el alfabetismo, el grado de escolaridad promedio en los hogares y localidades, y el grado o nivel de escolaridad alcanzada.

- **VI Servicios de salud.** El subíndice muestra el grado de salud que existe en las localidades y hogares con base en el acceso al sistema de salud; sin embargo, también muestra la diferenciación de los servicios de salud a través del tipo de institución de la cual reciben dichos servicios.
- **VII Trabajo y condiciones laborales.** El subíndice muestra el grado o nivel del trabajo y de las condiciones laborales de las personas en la localidad, con base en su situación económicamente activa y de ocupación.

Índice socioeconómico

El índice socioeconómico propuesto está integrado por los subíndices de la tabla 4:

- **I Nivel y distribución del ingreso.** El propósito de este subíndice es mostrar el nivel de ingresos de la localidad a partir de indicadores como el porcentaje de personas que perciben más de 2.5 salarios mínimos, el cual es considerado como el umbral en la línea de bienestar establecida por el CONEVAL. Además, está diseñado para describir el nivel del ingreso en función del gasto que hacen los hogares para cubrir necesidades como la energía eléctrica, el Gas LP y el agua potable.
- **II-IV Sectores económicos.** El propósito de estos subíndices es mostrar el grado o peso que tienen cada uno de los sectores sobre las localidades que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto. Por esta razón, se consi-

Tabla 3. Composición del índice sociodemográfico, subíndices, indicadores, variables y fuentes de información disponible.

Subíndice	Indicador	Variable	Fuente
I. Población.	Tamaño	Población total, desagregada por sexo.	Resultados del ITER en el INEGI (2005, 2010).
	Estructura	Población por grupos quinquenales, desagregada por sexo.	
	Proyección de crecimiento	Proyección de la población en 10, 15, 20 y 25 años.	No hay información en este nivel.
II. Distribución de la población.	Localidad urbana o rural	Tipo de localidad: urbana, periurbana o rural.	Catálogo disponible en el INEGI (ver https://www.inegi.org.mx/)
	Existencia de AGEB urbana, periurbana o rural.	Existencia de asignación de AGEB a la localidad	
	Dispersión de la población en el Área de Influencia.	Cantidad de localidades en el Área de Influencia por tamaño de población (P): a) $P \leq 10$ b) $10 < P \leq 100$ c) $100 < P \leq 500$ d) $500 < P < 2\,500$ e) $P \geq 2\,500$	Propuesto por el análisis con información del INEGI (2010).
III. Migración	Población nacida en la entidad	Número de personas por localidad nacida en otra entidad federativa	
IV. Hogares y viviendas.	Hogares censales.	Cantidad de hogares censales.	Resultados del ITER en el INEGI (2005, 2010).
	Hogares censales con jefatura femenina.	Número de hogares censales con jefatura femenina.	
	Estado civil del jefe de hogar.	Situación o estado civil de los jefes de hogar, desagregado por sexo.	
	Viviendas particulares habitadas	Porcentaje de viviendas particulares habitadas.	Índice de marginación por localidad del CONAPO (2010).
	Viviendas particulares con drenaje.	Porcentaje de viviendas particulares con drenaje.	
	Viviendas particulares con energía eléctrica.	Porcentaje de viviendas particulares con energía eléctrica	
	Viviendas particulares con agua entubada.	Porcentaje de viviendas particulares con agua entubada.	
Viviendas particulares sin piso de tierra.	Porcentaje de viviendas particulares sin piso de tierra.		
Viviendas con hacinamiento.	Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas.		

Tabla 3. Composición del índice sociodemográfico, subíndices, indicadores, variables y fuentes de información disponible.

Subíndice	Indicador	Variable	Fuente
V. Educación.	Alfabetismo.	Porcentaje de la población de 15 años y más que sabe leer y escribir, desagregada por sexo.	Índice de marginación por localidad en el CONAPO (2010).
	Grado de escolaridad.	Grado promedio de escolaridad, desagregado por sexo.	
	Escolaridad.	Población de 15 años y más con algún grado de escolaridad, desagregada por sexo.	
VI. Servicios de salud.	Derechohabientes.	Personas con derechohabiencia, desagregado por sexo.	Estimarlo con base en la información del ITER en el INEGI (2010).
	Tipo de derechohabiencia.	Derechohabiencia por institución de servicio de salud	
VII. Trabajo y condiciones laborales.	Población económicamente activa.	Personas económicamente activas, desagregado por sexo.	
	Población ocupada.	Personas ocupadas, desagregado por sexo.	

deran indicadores como la población ocupada y los jefes de hogar ocupados en cada uno de los sectores.

Índice sociocultural

El índice sociocultural está integrado por los subíndices que se muestran en la tabla 5:

- **I Patrimonio tangible e intangible.** El objetivo de este subíndice es describir el grado sociocultural de las localidades y el Área de Influencia del proyecto en función de elementos como las zonas arqueológicas, monumentos históricos, museos, fiestas y celebraciones.
- **II Dinámica social de la comunidad.** Aunque la dinámica social de la comunidad puede ser descrita de una forma

más amplia a partir de elementos como las redes sociales y aspectos como sus antecedentes históricos, este subíndice sólo retoma elementos como la diversidad de religión y cultos de tal manera que pueda ser contabilizado e integrado en el índice sociocultural.

- **III Lenguas habladas en la comunidad.** El objetivo de este subíndice es mostrar la diversidad de lenguas habladas en las localidades y en el Área de Influencia y de esta forma, considerar los puntos de referencia a partir de los cuales pueden ser impactadas las características socioculturales por el desarrollo del proyecto.

Tabla 4. Composición del índice socioeconómico, subíndices, indicadores, variables y fuentes de información disponible.

Subíndice	Indicador	Variable	Fuente
I. Nivel y distribución del ingreso.	Ingreso: más de 2.5 salarios mínimos.	Porcentaje de personas que perciben más de 2.5 salarios mínimos por localidad.	Deben levantarse encuestas en las localidades del Área de Influencia
	Ingreso: costo del agua potable.	Porcentaje de los hogares que perciben un ingreso para cubrir el costo del agua potable	
	Ingreso: costo de la energía eléctrica.	Porcentaje de los hogares que perciben un ingreso para cubrir el costo de la energía eléctrica.	
	Ingreso: costo de gas.	Porcentaje de los hogares que perciben un ingreso para cubrir el costo del gas.	
	Ingreso por jefatura de hogar.	Nivel de ingreso por jefatura de hogar, desagregado por sexo.	
II. Sector primario.	Población ocupada en el sector.	Porcentaje de la población ocupada de la localidad en el sector.	
	Jefes de hogar ocupados en el sector.	Porcentaje de jefes de hogar de la localidad ocupados en el sector.	
III. Sector secundario.	Población ocupada.	Porcentaje de la población ocupada de la localidad en el sector.	
	Jefes de hogar ocupados en el sector.	Porcentaje de jefes de hogar de la localidad ocupados en el sector.	
IV. Sector terciario.	Población ocupada.	Porcentaje de la población ocupada de la localidad en el sector.	
	Jefes de hogar ocupados en el sector.	Porcentaje de jefes de hogar de la localidad ocupados en el sector.	

Tabla 5. Composición del índice sociocultural, subíndices, indicadores, variables y fuentes de información disponible.

Subíndice	Indicador	Variable	Fuente
I. Patrimonio tangible e intangible.	Patrimonio de la humanidad.		CONACULTA (2015).
	Zonas arqueológicas.	Cantidad de sitios en la localidad o en el Área de Influencia del proyecto.	
	Monumentos históricos.		
	Museos.		
	Fiestas y celebraciones.	Número de fiestas y celebraciones.	
II. Dinámica social de la comunidad.	Religión.	Diversidad de religión y cultos.	INEGI (2010).
III. Lenguas habladas en la comunidad.	Catálogo de lenguas indígenas.	Diversidad de lenguas habladas en la localidad.	Ver https://www.inali.gob.mx/

Modelo de integración de los índices

Normalización de las variables, subíndices e índices

Con la finalidad de obtener los índices, subíndices e indicadores, se aplicó la Ecuación 1 para normalizar las variables que se muestran en la tabla 3, 4 y 5, y expresarlas como indicadores con valores de $0 \leq X \leq 1$.

$$B_j = \frac{X_j - \min X_j}{\max X_j - \min X_j}$$

Ecuación 1. Fórmula para normalizar variables, subíndices e índices.

En donde:

X: variable, subíndice e índice para normalizar.

minX: valor mínimo de la variable, subíndice e índice para normalizar.

maxX: valor máximo de la variable, subíndice e índice para normalizar.

j: localidades del Área de Influencia del proyecto.

Integración de los índices de la línea base

Cada uno de los indicadores en las tabla 3, 4 y 5 se sumaron conforme al subíndice de integración correspondiente. De la misma forma, los subíndices se sumaron conforme al índice de integración correspondiente. Las fórmulas para las sumatorias de los índices se pueden observar en la tabla 6.

Ventajas y desventajas del método propuesto

Debido a que las Disposiciones Administrativas en materia de la EIS en el DOF (2018) establecen que “*deben medirse y cuantificarse los impactos sobre las localidades a partir de la línea base*” y que dichos impactos son “*todos los cambios y consecuencias, positivas o negativas, que resultan del desarrollo de un Proyecto*”, la raíz-información que alimenta los índices de la línea base, carecen de flexibilidad para ser evaluados en el tiempo, debido a que éstos, corresponden a la in-

Tabla 6. Fórmulas para la sumatoria del índice sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural; así como los subíndices que los componen.

Índice	Fórmula	Subíndices
Sociodemográfico (IS).	$IS = \sum (SI1j, SI2j, SI3j, SI4j, SI5j, SI6j, SI7j)$	SI1; población. SI2; distribución de la población. SI3; migración. SI4; hogares y viviendas. SI5; educación. SI6; servicios de salud. SI7; trabajo y condiciones laborales.
Socioeconómico (ISE).	$ISE = \sum (SI1j, SI2j, SI3j, SI4j)$	SI1; nivel y distribución del ingreso. SI2; sector primario. SI3; sector secundario. SI4; sector terciario.
Sociocultural (ISC).	$ISC = \sum (SI1j, SI2j, SI3j)$	SI1; patrimonio tangible. SI2; dinámica social de la comunidad. SI3; lenguas habladas en la comunidad.

formación en fuentes como el Censo General de Población y Vivienda en el INEGI (2010), los cuales son levantados cada 10 años, o bien los conteos muestrales. Por tal razón, el monitorio de los índices en función de los impactos del proyecto tendrá un nivel alto de rigidez, tal y como lo han señalado metodologías de índices como la Report Card en Bertule *et al.* (2017).

La integración de varios indicadores dentro de los subíndices; así como la integración de varios subíndices dentro del índice sociodemográfico (IDC), puede ocultar diferentes aspectos que más allá de ser componentes de un subíndice o índice, pueden ser variables externas que explican el comportamiento sociodemográfico (OECD, 2001) de una localidad o de las localidades dentro del Área de Influencia del proyecto. Tal y como se señaló en los reportes de integración de indicadores de la OECD (2001, 2003, 2004), más allá de ser cajas negras, los indicadores e índices deben ser parte de una interpretación de la realidad, con características adaptativas y flexibles que eviten la pérdida de información tras la simplificación del contexto y el entorno social, económico y ecológico, además de evitar la composición de afirmaciones a priori, sin un sustento técnico-estadístico que provean la certidumbre del dato proporcionado.

En el caso del índice sociocultural, la extrema simplificación de la realidad y subjetividad para determinar el grado o nivel sociocultural de una localidad en función de su patrimonio tangible e intangible, así como de los indicadores señalados en la tabla 5, supone la incorporación de aspectos

mencionados en obras académicas como Romano Garrido (2007), en donde se señalan aspectos del desarrollo histórico de las relaciones sociales entre patrones, localidades, vecindados y oligarcas de las regiones, que van permeando el entorno sociocultural de las localidades y que influyen de forma decisiva en el desenvolvimiento de las fiestas y tradiciones que forman parte del contexto sociocultural.

Por otro parte, las ventajas de considerar un índice integrado como el socioeconómico, se debe a que el análisis del nivel y distribución de los ingresos tiene como objetivo proporcionar un panorama estadístico del comportamiento de los ingresos y gastos de los hogares en cuanto a su monto, procedencia y distribución. Estos datos son importantes y tienen una incidencia dentro del análisis de la situación base de las localidades. Por tal razón, además de los indicadores mostrados en las tablas 3, 4 y 5, es necesario integrar variables como:

- Porcentaje de cobertura del ingreso para alimentos;
- Porcentaje de cobertura del ingreso para salud;
- Porcentaje de cobertura del ingreso para el vestido, y;
- Porcentaje de cobertura del ingreso para el costo de la educación.

Estos indicadores pueden ser un punto de referencia para alimentar lo mostrado en la presente propuesta metodológica ya que son parte de las variables que se consideran en el índice de pobreza estimado a nivel municipal por el CONEVAL (2010b).

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Indicadores sociodemográficos

En lo que corresponde a los indicadores sociodemográficos, las actuales Disposiciones Administrativas instan, de forma acertada, a la utilización de las diferentes variables que se presentan en los datos de los ITER del Censo General de Población y Vivienda del 2010; sin embargo, las disposiciones administrativas necesitan incorporar variables elaboradas con estudios de campo que logren mostrar a nivel de hogar el estado actual de las localidades, y de esta forma, utilizarlos como parte de la línea base para proyectar la posible afectación por el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos. Es necesario, además, que las instituciones encargadas de la revisión de las EIS como la SENER propongan una adecuación de las disposiciones administrativas con la finalidad de incluir aspectos como la gobernanza local dentro de los aspectos sociodemográficos de los hogares y las localidades que se encuentran en el área de influencia de los proyectos. Tal es el caso de variables como la integración social y comunitaria en la toma de decisiones sobre aspectos como el desarrollo de las viviendas de las localidades, sobre aspectos legales-ejidales como la determinación geográfica de los centros poblacionales y sobre aspectos como la dispersión de la población a lo largo de las localidades.

Indicadores socioeconómicos

En el caso de los indicadores socioeconómicos es necesario que los tomadores de decisiones junto con los promoventes y la SENER, trabajen en la elaboración de una guía para las disposiciones administrativas que incluyan variables económicas como el

ingreso-gasto por hogar a partir de los estudios de campo como encuestas y entrevistas que forman parte del proceso de la EIS. Las variables como el ingreso-gasto por hogar pueden mostrar la tendencia económica a la escala de hogares y de las localidades con la finalidad de explicar cuales son los sectores económicos que tienen mayor impacto sobre los hogares que se encuentran en el Área de Influencia del Proyecto, y de esta forma, modelar los posibles impactos positivos y negativos que tendrían planes de gestión social de proyecto como la incorporación de la mano de obra no calificada durante las diferentes etapas del proyecto. Además, en el contexto de la gobernanza local, la inclusión de variables como el ingreso por actividades económicas que son productos de las redes locales de trabajo como las cooperativas locales y ejidales pueden explicar el estado actual de las localidades en términos de su cohesión y confianza local, así como el estado del tejido social en el sentido de la cooperación local, y de esta manera, tener un punto de referencia para evaluar cualitativamente los impactos del desarrollo del proyecto en términos, no sólo del ingreso, sino también de las actividades y redes económicas de trabajo que se verían beneficiadas o afectadas.

Indicadores socioculturales

Las disposiciones administrativas requieren de la incorporación de aspectos como las redes sociales de trabajo, las redes de cooperación y las instituciones localidades; así como las bases sobre las cuales están construidas tales como la confianza y la regulación local, independientemente de los marcos normativos de la legislación federal, estatal y municipal. En este sentido,

los aspectos mencionados pueden reflejar y explicar en cierta forma el grado o nivel de gobernanza social y cultural que existe en las localidades, bajo sus diferentes normas y tradiciones. Aunque las Disposiciones Administrativas incluyen un apartado para el análisis de las poblaciones indígenas y aspectos como la autodeterminación y la auto adscripción, estos están basados en un compendio de variables estadísticas inte-

gradadas por el INEGI, el INAH, la Secretaría de Cultura y la CDI. Sin embargo, la EIS debe ser entendida como un proceso y no sólo como la elaboración de un documento y un instrumento de gestión, por tal motivo, el trabajo de campo como las entrevistas y las entrevistas semiestructuradas deben estar enfocadas en obtener información cualitativa para construir indicadores como los aquí propuestos.

Conclusiones

La presente propuesta metodológica para la integración de la línea base del índice sociodemográfico, socioeconómico y sociocultural de las localidades que se ubican en el área de influencia de los proyectos de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos, trata de exponer la evolución entre las Disposiciones administrativas de la COFEMER (2015) y las Disposiciones Administrativas en el DOF (2018) actualmente vigentes. De esta forma, se enfoca en sintetizar e integrar los elementos que, con base en las fuentes de información como el INEGI, el CONAPO, el CONEVAL, la CDI, entre otros, pueden ser considerados para establecer un punto de referencia del estado de las localidades antes del desarrollo y puesta en marcha de un proyecto de

la naturaleza, como el que aquí se plantea. Sin embargo, existen elementos como los anteriormente discutidos que replantean la necesidad de trabajar de forma interdisciplinaria en la búsqueda de generar metodologías alternas que sean consideradas e incorporadas en las disposiciones administrativas, con la finalidad de brindar certeza técnico-académica al proceso de elaboración de la EIS, e incorporar los elementos sociales que, muchas veces, suelen quedar marginados debido a la percepción de las personas que participan en dicho proceso. Más importante aún, asegura la viabilidad social de los proyectos en el mediano y largo plazo, además de considerar la situación real de las localidades en la toma de decisiones.

Literatura citada

- Becker, H. A., y F. Vanclay, 2003. *The International Handbook of Social Impact Assessment. Conceptual and Methodological Advances*. Edward Elgar Publishing Limited. Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA. 348 p.
- Bertule, M., P. K. Bjorsen, S. D. Costanzo, J. Escurra, S. Freeman, L. Gallagher, R. H. Kelsey, y D. Vollmer, 2017. Using indicators for improved water resources management. UN, DHI, WWF, GEF, Center for Environmental Science, Luc Hoffmann Institute, Washington DC. 82 p.
- Bice, S., y K. Moffat, 2014. Social licence to operate and impact assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 32(4): 257–262.
- BID, 2013. Guías para las consultas públicas y la participación de las partes interesadas en los proyectos financiados por el BID. BID, Washington DC. 150 p.
- CDI, 2003. Convenio 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes. CDI, Ciudad de México. 20 p.
- COFEMER, 2015. Disposiciones administrativas de carácter general sobre la Evaluación de Impacto Social en el sector energético. COFEMER, Ciudad de México. <http://www.cofemersimir.gob.mx/portales/resumen/34590>.
- CONACULTA, 2015. Sistema de Consulta de Estadísticas (versión preliminar). CONACULTA (Consejo Nacional para la Cultura y las Artes), Ciudad de México.
- CONAPO, 2010. Índices de marginación 2010. CONAPO (Consejo Nacional de Población), Ciudad de México.
- CONAPO, 2014. Proyecciones de la Población. CONAPO (Consejo Nacional de Población), Ciudad de México.
- CONEVAL, 2010a. Índice de Pobreza 2010. CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social), Ciudad de México.
- CONEVAL, 2010b. Medición de la pobreza: carencia por acceso a la seguridad social. CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). Ciudad de México.
- DOF, 2014a. Ley de la Industria Eléctrica. DOF (Diario Oficial de la Federación), Ciudad de México.
- DOF, 2014b. Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica. DOF (Diario Oficial de la Federación), Ciudad de México.
- DOF, 2015. Ley de Transición Energética. DOF (Diario Oficial de la Federación), Ciudad de México.
- DOF, 2018. Disposiciones Administrativas de Carácter General sobre la Evaluación de Impacto Social en el Sector Energético. DOF (Diario Oficial de la Federación), Ciudad de México.
- Ellis, F., 1999. Rural livelihood diversity in developing countries: evidence and policy implications, *Natural Resources Perspective*. ODI (Overseas Development Institute), London, UK. 10 p.
- Ellis, F., 2000. The Determinants of Rural Livelihood Diversification in Developing Countries. *Journal of Agricultural Economics*, 51(2): 289–302.
- Ellis, F. y A. H. Freeman, 2005. *Rural livelihoods and poverty reduction policies*. Routledge (Taylor & Francis Group), London and New York. 404 p.
- Esteves, A. M., D. Franks, y F. Vanclay, 2012. Social impact assessment: the state of the art, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1): 34–42.
- Freudenburg, W. R., 1986. Social Impact Assessment. *Annual Review of Sociology*, 12(1): 451–478.
- IFC, 2015. Evaluación y Gestión de Impactos Acumulativos: Guía para el Sector Privado en Mercados Emergentes. IFC (International Finance Corporation), Washington DC. 104 p.
- Igwe, N. y J. Mnim, 2013. Adapting Corporate Social Responsibility Programs to Risk Management: A Model for Multinational Organizations in Nigeria, *European Journal of Business and Management*, 5(15): 9.
- INEGI, 2005. Censo de población y vivienda 2005. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Ciudad de México.
- INEGI, 2009. Censo Económico 2009. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Ciudad de México.
- INEGI, 2010. Censo general de población y vivienda 2010. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Ciudad de México.
- INEGI, 2014. Censo Económico 2014. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Ciudad de México.
- INEGI, 2019a. Finanzas públicas. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Ciudad de México.

- INEGI, 2019b. Seguridad pública. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Ciudad de México.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. United Nations, New York.
- Juárez-Hernández, S., y G. León, 2014. Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social, *Problemas del Desarrollo*, 45(178): 139–162.
- Margolis, J. D. y J. P. Walsh, 2003. Misery Loves Companies: Rethinking Social Initiatives by Business, *Administrative Science Quarterly*, 48(2): 268–305.
- Naciones Unidas, 2015. Acuerdo de París, Convención Marco sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas, París. 40 p.
- Natera-Peral, A., Nuevas estructuras y redes de gobernanza, *Revista Mexicana de Sociología*, 67(4): 755-791.
- OECD, 2001. Environmental Indicators. Towards Sustainable Development. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), Paris. 150 p.
- OECD, 2003. Environmental Indicators. Development, measurement and use. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), Paris. 37 p.
- OECD, 2004. OECD key environmental indicators. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), Paris. 38 p.
- PNUD-ONU, 2000. Índice de Desarrollo Humano a nivel municipal. ONU, Ciudad de México.
- PNUD-ONU, 2010. Índice de Desarrollo Humano (IDH). PNUD (Plan de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Ciudad de México.
- Romano Garrido, R., 2007. Cacicazgo y oligarquía en el oriente de Tlaxcala. El Colegio de Tlaxcala A.C., Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México. 153 p.
- SENER, 2017. Balance Nacional de Energía. SENER (Secretaría de Energía), Ciudad de México.
- Vanclay, F., 2003. International Principles For Social Impact Assessment, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 21(1): 5–12.
- Vanclay, F., A. M. Esteves, y D. Franks, 2015. Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos. IAIA (Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos), Fargo, USA. 110 p.
- World Bank, 2008. Sostenibilidad ambiental. Evaluación del apoyo ofrecido por el Grupo del Banco Mundial. World Bank, Washington DC. 32 p.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Costos ambientales y económicos no internalizados por la generación de energía eléctrica limpia: servicios ecosistémicos vs condicionantes ambientales

*C. Vázquez-González, C. Martínez González,
J. González Mora y J. D. Tadeo Vara*

Resumen

A partir de la reforma energética, el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica en México con sistemas fotovoltaicos experimentó un aumento considerable. Actualmente existen 42 plantas de generación en operación; sobre todo en el altiplano mexicano; sin embargo, las zonas costeras no son la excepción. Aunque la energía limpia ha irrumpido como una alternativa eficiente para disminuir las emisiones de carbono a la atmósfera, el desarrollo, la construcción y la puesta en marcha de los proyectos, así como sus obras asociadas para la interconexión tal como la transmisión y la transformación de la energía eléctrica, implican impactos ambientales por el cambio de uso del suelo y de la vegetación, y la pérdida de los servicios ecosistémicos derivados de éste. En este sentido, el costo económico por la pérdida de los servicios ecosistémicos no es internalizado en su totalidad por las medidas de prevención, mitigación y/o compensación impuestas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de las condicionantes en los estudios de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) y del Estudio Técnico Justificativo (ETJ) para el cambio de uso de suelo forestal. El presente capítulo tiene como objetivo estimar la diferencia entre las medidas de prevención, mitigación y/o compensación en las condicionantes de la MIA y del ETJ, y el valor económico por la pérdida de los servicios ecosistémicos derivados del cambio de uso del suelo y de la vegetación por los proyectos de generación de energía eléctrica y sus obras asociadas para la interconexión. Por esta razón, se modeló un caso de estudio en la zona costera de Campeche, México y se obtuvieron los costos por km de una línea de transmisión (LT) de 115 kV, una subestación elevadora (SE Elevadora) y una subestación de maniobras (SE de Maniobras) para abrir y entroncar con la LT Sabancuy-Escárcega 115 kV 1C operada por la CFE y parte del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Los resultados muestran que la diferencia entre el valor de los servicios ecosistémicos y el valor de las condicionantes impuestas en la MIA y en el ETJ es de \$ 8.23 pesos/ha. Por esta razón, es posible concluir que el costo total de las obras de transmisión y de transformación; así como el costo de las condicionantes para medidas de prevención, mitigación y/o compensación impuestas en la MIA y en el ETJ, no internalizan la pérdida total del valor de los servicios ecosistémicos. Por tal motivo, es posible concluir en la necesidad de una metodología que internalice en las medidas de compensación la pérdida de los servicios ecosistémicos con la finalidad de propiciar los elementos de toma de decisiones en el contexto de la gobernanza de las comunidades y los proyectos de energía.

Palabras clave: estudio técnico justificativo, interconexión, manifestación de impacto ambiental, sistemas fotovoltaicos, cambio de uso del suelo, línea de transmisión, subestación elevadora, subestación de maniobras.

Introducción

A partir de la reforma energética, el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica en México con sistemas fotovoltaicos experimentó un aumento considerable. Actualmente existen 42 plantas de generación en operación (ver www.asolmex.org); sobre todo en el altiplano mexicano; sin embargo, las zonas costeras y en particular la zona de la península de Yucatán no son la excepción. Con base en el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) (<https://www.gob.mx/cenace>), hasta enero del 2019 se identificaron 28 proyectos de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos en proceso de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), los cuales se encuentran en un status que les brinda la posibilidad de avanzar en su desarrollo y llegar a ser construidos para entrar en operación.

Aunque la irradiación solar en la península de Yucatán no es la más alta para la generación de la energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos (ver <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>), esta zona se ha vuelto de gran interés para los inversionistas y desarrolladores debido a los altos precios marginales locales de la energía eléctrica (www.cenace.gob.mx) que son el resultado del déficit de generación de energía eléctrica en la zona por la falta de gas natural y baja eficiencia de las centrales termoeléctricas de la zona (www.cenace.gob.mx). Esto, en un contexto del mercado abierto impulsado por la reforma energética y la Ley de la Industria Eléctrica (DOF, 2014a), su reglamento (DOF, 2014b), y otros manuales y acuerdos regulatorios en la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y en CENACE, ha generado el interés económico por el desarrollo de mega proyectos de infraestructura eléctrica.

En México, y en particular en la península de Yucatán, existe una necesidad de primer orden por generar energía eléctrica (SENER, 2017), sobre todo, cuando se trata de sistemas de generación “limpios”. Sin embargo, es necesario analizar las restricciones ambientales y tener un panorama global e integral antes de iniciar mega-proyectos específicos. En el caso de los proyectos de generación de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos (FV a partir de ahora), en condiciones cuya topografía es menor al 5.0 %, se requiere de una superficie de 3 ha por cada MW de capacidad instalada (capítulo 9 de la presente obra). Además, el proyecto requiere de las obras asociadas para la interconexión al SEN, lo que conlleva a instalaciones como: una SE elevadora, una LT de interconexión y, en algunos casos, una SE de maniobras para abrir y entroncar con alguna LT del SEN operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Derivado del FV y sus obras asociadas para la interconexión, la pérdida de los servicios ecosistémicos por el cambio de uso del suelo y de la vegetación no es internalizada completamente en las condicionantes ambientales aplicadas por la SEMARNAT a través de la evaluación de instrumentos normativos como la MIA (DOF, 2014c) y el ETJ (Cámara-de-Diputados, 2014b). El presente capítulo tiene como objetivo estimar la diferencia entre las medidas de prevención, mitigación y/o compensación en las condicionantes de la MIA y del ETJ, y el valor económico por la pérdida de los servicios ecosistémicos derivados del cambio de uso del suelo y de la vegetación por los proyectos de generación de energía eléctrica y de sus obras asociadas para la interconexión.

Descripción técnica los proyectos

Transmisión de la energía eléctrica

¿Qué es una LT?

Una línea de transmisión aérea, es un sistema formado principalmente por estructuras que soportan los cables conductores, los cables de guarda, los herrajes, el aislamiento y los accesorios, con la finalidad de transportar la energía eléctrica de una SE a otra (CFE, 2012). En la alta tensión –más específicamente– las que operativamente se encuentran a cargo, generalmente, de la CFE-Transmisión se clasifican en LT de 115, 230 y 400 kV (CFE, 2017). Éstas pueden ser de varios tipos: 1) torres de acero galvanizadas-auto soportadas, 2) postes troncocónicos de acero galvanizado, 3) postes de madera, 4) postes de concreto, 5) postes Morelos de acero galvanizado o bien 6) una combinación de varios tipos de estructuras (CFE, 2017).

En el rubro electromecánico los componentes, en términos generales, son los siguientes (CFE, 2012):

- **Cables conductores.** Estos cables transmiten la energía de un punto a otro.
- **Herrajes y el aislamiento.** Estos accesorios unen las estructuras con los cables conductores.
- **Aisladores.** Los aisladores se colocan entre los herrajes y los cables conductores para evitar que la energía llegue a la estructura.
- **Cables de guarda.** Estos cables protegen a la LT de las descargas atmosféricas y de las fallas en el SEN.
- **Sistema de tierra.** Se utiliza para drenar hacia la tierra las corrientes de descargas atmosféricas y de fallas en el SEN.

- **Cimentaciones.** Son de concreto reforzado y estas pueden ser: 1) pilas rectas con campana o sin campana, 2) zapatas aisladas, 3) pilotes hincados de concreto reforzado o colados en sitio o una combinación de varios tipos, etc.

Descripción de una LT de 115 kV 2C

En el presente capítulo se describe una LT hipotética de 115 kV en dos circuitos (2C). Ésta inicia en el marco de remate o bahía de salida en la SE Elevadora a 115 kV de la central de generación de energía eléctrica propuesta. La LT operará en una tensión nominal de 115 kV y en una frecuencia de 60 Hz. El presente ejercicio contempla una longitud de 1 km-LT, con la instalación de 2 km-circuito, es decir, un km por cada circuito de la LT, y considera un hilo conductor de tipo ACSR/AS calibre 795 kcm por fase de la LT. Además, la obra se construirá con estructuras-torres de acero galvanizado-auto soportadas para 115 kV, de dos circuitos en disposición vertical, tendido de dos circuitos, herrajes, aisladores y accesorios, e incluye la instalación de un cable de guarda AAS 7#8 y un cable de guarda con 36 fibras ópticas.

Análisis de los costos de una LT de 115 kV 2C

Los costos de una LT de 115 kV 2C pueden variar en función de las siguientes condiciones:

- Ubicación de la línea de transmisión;
- Topografía (terreno plano, lomerío suave, terreno montañoso, etc.);
- Zona urbana o rural;
- Zonas inundables como ríos, lagunas, esteros, etc., y;
- Climatología de la zona.

Para el presente ejercicio se consideraron los costos por km divididos en: obra civil, obra electromecánica y suministros. El costo total de la obra estimado es de \$4 130 596 pesos mexicanos (tabla 1).

Tiempo de ejecución de una LT 115 kV 2C

El tiempo de ejecución aproximado es de 90 días, sin considerar las pruebas de operación y puesta en servicio.

Transformación de la energía eléctrica

SE Elevadora

Una SE-Elevadora se caracteriza por tener uno o más bancos de transformación, los cuales elevan el nivel de la tensión de las fuentes de alimentación. Con base en la Ley de la Industria Eléctrica y su reglamento en el DOF (2014a, b), los niveles de media tensión –13.8 y 34.5 kV– y de alta tensión –69 y 115 kV– se elevan a niveles de 230 y 400 kV, a través de transformadores de potencia. De esta forma, se reduce la corriente para que la potencia pueda ser transportada a grandes distancias con el mínimo de pérdidas y que el SEN pueda operar con un mayor nivel de eficiencia. Éstas se encuentran al aire libre y están situadas a

un lado o dentro de las centrales generadoras de energía eléctrica, tal es el caso de la SE Elevadora del Parque Eólico la Amistad I, en Coahuila, México (ver <http://sinat.semarnat.gob.mx/Gaceta/anosgaceta>).

Con base en el modelo general de planeación en el CENACE (2018), las tensiones que son transformadas por una SE del SEN son las siguientes:

- Red de baja tensión. La tensión de 127, 220 y 440 V; así como 4,16, 13.8, 23 y 34.5 kV.
- Red de media tensión. La tensión de 2.4, 4.16, 6.6, 13.8, 23.0 y 34.5 kV.
- Red de alta tensión. La tensión de 69.0, 85.0, 115, 138, 161, 230 y 400 kV.

SE de Maniobras

Las SE de Maniobras son las encargadas de conectar dos o más circuitos a través de maniobras. En ésta se interconectan varios sistemas y se distribuye la energía eléctrica. Su función es generar entronques con la finalidad de abrir las LT del SEN y entroncarlas con las LT que vienen de una central de generación de energía eléctrica o van hacia un centro de carga. De esta forma, se permite la formación de nudos en una red mallada con el propósito de dar mayor confiabilidad y continuidad al SEN (CENACE, 2018). El nivel de tensión en las SE de

Tabla 1. Costo total por km de una LT de 115 KV 2C.

Concepto	Costo
Civil.	330 447
Electromecánica.	1 156 826
Suministros.	2 643 322
Costo total.	4 130 596

Fuente: información tomada de la CFE en <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/> y ajustados al presente ejercicio y características propias del estudio de caso; así como la elaboración de modelos y análisis de elaboración propia.

Nota. Los costos están expresados en pesos mexicanos.

Maniobras es el mismo; por lo tanto, no se utilizan transformadores de potencia que eleven o reduzcan la tensión. Ejemplo de este tipo de SE, es la SE Altzayanca Maniobras, la cual fue construida con la finalidad de abrir la LT Zocac-Jalancingo 230 kV 1C y poder entroncarla con la LT Altzayanca Maniobras-San José Chiapa, la cual tiene el objetivo de despachar energía eléctrica al centro de carga de la industria automotora Audi, ubicada en San José Chiapa, Puebla (CENACE, 2018).

Análisis de los costos de la SE-Elevadora

Para integrar el costo de una SE Elevadora es necesario conocer las características de la misma para definir cómo se conformará. En el presente capítulo, se modeló una obra hipotética cuyos elementos de la SE Elevadora son los siguientes:

- Dos alimentadores en 115 kV, y;

- Un banco de transformación de 34.5 a 115 kV.

Bajo las características anteriores, en el costo total de una obra se aprecia que existe una diferencia considerada entre la obra civil y la obra electromecánica debido al concepto de suministros. El costo total de una SE Elevadora –sin considerar las actividades previas– es de \$83 880 919 de pesos (tabla 2).

Tiempo de ejecución de una SE Elevadora

Para la SE Elevadora que se propone en el presente estudio, el programa integral de obra (cronograma de actividades) tiene una duración de ocho meses (tabla 3), esto sin considerar las pruebas de operación y puesta en servicio, es decir, el tiempo en el cual se habilita la SE para su funcionamiento y entrada en operación en el SEN.

Tabla 2. Costo total de una SE Elevadora de 115 KV.

Obra y suministros	Conceptos		Sub-total
	Dos alimentadores (115 kV)	Un banco de transformación (34.5 kV a 115 kV)	
Civil.	4 213 173	2 816 697	7 029 870
Electromecánica.	4 067 134	3 037 617	7 104 751
Suministros.	32 643 074	37 103 225	69 746 299
Costo total.	40 923 380	42 957 539	83 880 919

Fuente: Información tomada de la CFE en <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/> y ajustados al presente ejercicio y características propias del estudio de caso; así como la elaboración de modelos y análisis de elaboración propia.

Nota. Los costos están expresados en pesos mexicanos.

Tabla 3. Programa integral de obra de una SE Elevadora a 115 kV.

No.	Concepto	Días	Meses									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Suministro.	152										
2	Obra Civil.	183										
3	Obra Electromecánica.	122										

En el contexto normativo de la SEMARNAT

En México el sector ambiental está representado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual es la encargada de fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales, así como de los bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento sustentable (Cámara-de-Diputados, 2014a). Para el sector eléctrico, y más específicamente, las obras que se refieren a la transmisión y a la transformación de la energía eléctrica –LT y SE, respectivamente– son competencia de dos direcciones que tiene a su cargo la SEMARNAT: 1) la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) y 2) la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos (DGGFS). Dentro de todas las funciones de la DGIRA, son específicamente dos las que se encuentran ligadas al desarrollo de los proyectos de transmisión y de transformación de la energía eléctrica:

- Evaluar y resolver las manifestaciones de impacto ambiental regional (MIA) y los estudios de riesgo (DOF, 2014b).
- Modificar, suspender, anular, nulificar y revocar las autorizaciones en materia de impacto ambiental y analizar, en su caso, los estudios de riesgo respectivos (DOF, 2014b).

Mientras la DGIRA es la encargada de otorgar las autorizaciones y permisos en materia de impacto y riesgo ambiental, la DGGFS es la encargada, entre otros asuntos, de evaluar, autorizar, suspender, revocar, anular y nulificar el cambio de uso de suelo en terrenos forestales (DOF, 2018). Bajo este contexto normativo, estas dos direcciones son quienes otorgan las autorizaciones –en materia ambiental– para iniciar la

construcción de un proyecto en el ramo de la industria eléctrica.

Con la reforma energética se modificaron los artículos 25, 26 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; sin embargo, el artículo 27 sólo afectó dos párrafos, dejando intocado el tercero cuyo contenido se refiere, entre otros aspectos, a la conservación del equilibrio ecológico. Es importante señalar que el equilibrio ecológico, tal como se expresa en el artículo 27 Constitucional, tiene que ver fundamentalmente con la conservación y manejo de los recursos naturales y su forma de explotación, mientras que el derecho a un ambiente sano, se encuentra en la parte correspondiente a los derechos individuales, concretamente en el artículo 4to. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

En el caso del sector eléctrico, la ley principal es la Ley de la Industria Eléctrica (LIE); a diferencia de la antigua Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. El Artículo 4to. De la LIE establece que “*el suministro eléctrico es un servicio de interés público; así como la generación y la comercialización de la energía eléctrica son servicios que se prestan en un régimen de libre competencia*” (DOF, 2014a). Además, las actividades de generación, transmisión, distribución, comercialización y el control operativo del SEN son de utilidad pública y se sujetarán a las obligaciones del servicio público y universal en términos de la LIE y de las disposiciones aplicables. Con la finalidad de lograr el cumplimiento de los objetivos establecidos en este ordenamiento legal, se consideran como obligaciones del servicio público y universal las siguientes:

- Ofrecer y prestar el suministro eléctrico a todo aquél que lo solicite, cuando ello sea técnicamente factible, en condiciones de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad;
- Cumplir con las disposiciones de impacto social (analizadas en otro capítulo del presente libro) y de desarrollo sustentable establecidas en el Capítulo II del Título Cuarto de la LIE;
- Cumplir con las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes que al efecto se establezcan en las disposiciones aplicables. Tal y como lo señala la Ley de Transición Energética en el DOF (2015);
- En el Capítulo III. De las Obligaciones de Energías Limpias, en el Artículo 121 de la LIE (DOF, 2014a), la SENER implementará mecanismos que permitan cumplir la política en materia de diversificación de fuentes de energía, seguridad energética y la promoción de fuentes de energías limpias;
- El Artículo 129 de la LIE (DOF, 2014a) menciona que la SEMARNAT establecerá a través de normas oficiales mexicanas y los demás instrumentos o disposiciones aplicables, las obligaciones de reducción de emisiones contaminantes relativas a la industria eléctrica, y;
- El Artículo 130 de la LIE (DOF, 2014a), menciona que los asignatarios, contratistas, autorizados y permisionarios ejecutarán las acciones de prevención y de reparación de daños al medio ambiente

o al equilibrio ecológico que ocasionen con sus actividades y estarán obligados a sufragar los costos inherentes a dicha reparación, cuando sean declarados responsables por resolución de la autoridad competente, en términos de las disposiciones aplicables.

En la práctica, son tres los conceptos que son importantes a señalar, la MIA, el ETJ, y el pago al Fondo Forestal Mexicano como compensación por el cambio de uso de suelo en predios forestales; así como las condicionantes y programas de prevención, mitigación y/o compensación que la SEMARNAT imponga a los promoventes de los proyectos de generación, transmisión y transformación de energía eléctrica.

Matriz de costos de la Evaluación de Impacto Ambiental

En la tabla 4 se pueden observar los costos en pesos mexicanos de las diferentes etapas que conlleva el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental. Cabe señalar que incluye tanto los costos por la Evaluación de Impacto Ambiental de la LT de 115 kV 2C como los costos por la SE Elevadora a 115 kV.

Matriz de costos del ETJ

En la tabla 5 se pueden observar los costos en pesos mexicanos de las diferentes etapas que conlleva el proceso del ETJ. Cabe señalar que incluye tanto los costos por la LT de 115 kV 2C como los costos por la SE Elevadora a 115 kV.

Tabla 4. Costos en materia de Evaluación de Impacto Ambiental y cumplimiento a las condicionantes que aplica la SEMARNAT.

Concepto	Costos
Elaboración de la MIA.	450 000
Ingreso a evaluación a la DGIRA.	34 681
Elaboración del Programa de Vigilancia Ambiental (PVA).	85 000
Sub-total.	569 681
Cumplimiento a las condicionantes.	
Reforestación de 31.07 ha.	883 184
Seguros y garantías.	903 203
Monitorio de aves.	450 000
Rescate de flora y reubicación.	150 000
Rescate de fauna y reubicación.	10 000
Sub-total.	2 396 387
Costo total en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental.	2 966 069
Fuente: Elaboración propia.	
Nota. Los costos están expresados en pesos mexicanos. El costo total es la suma de ambos sub-totales.	

Tabla 5. Costos en materia de ETJ y cumplimiento a las condicionantes que aplica la SEMARNAT.

Concepto	Costos
Costo de elaboración.	1 104 601
Ingreso a evaluación a la DGFS.	34 681
Pago al fondo forestal mexicano.	1 502 834
Presentación al fondo forestal estatal.	2 527
Atención de Visita Técnica de SEMARNAT.	4 551
Subtotal.	2 649 194
Cumplimiento de las condicionantes.	
Reforestación de 31.07 ha.	883 184
Rescate de flora y reubicación.	550 000
Rescate de fauna y reubicación.	350 000
Programa de conservación de suelo y agua.	149 825
Servicios técnicos forestales.	1 731 648
Subtotal.	3 664 657
Costo total en materia del ETJ	6 313 851
Fuente: Elaboración propia.	
Nota. Los costos están expresados en pesos mexicanos. El costo total es la suma de ambos subtotales.	

Estudio de caso: proyecto de generación y sus obras asociadas

El proyecto hipotético planteado para el presente ejercicio se encuentra localizado en el municipio de Carmen, Campeche, México. Este municipio tiene una población de 221 140 habitantes (INEGI, 2010) y se encuentra distribuida en 878 localidades. De las cuales, con base en el Censo General de Población y Vivienda del INEGI (2010), seis son localidades urbanas (415 688 habitantes) y 872 son consideradas localidades rurales (26 592 habitantes). El proyecto fotovoltaico de generación de energía eléctrica (FV) planteado tiene una superficie de 100 ha, tendrá una LT de 115 kV 2C cuya longitud será de 0.8 km aproximadamente,

una SE Elevadora dentro del polígono del FV y una SE de Maniobras para abrir y entroncar con la LT Escárcega-Sabancuy 115 kV 1C propiedad del SEN y operada por la CFE (figura 1).

Análisis de uso del suelo y vegetación

Para estimar el impacto del FV y sus obras asociadas para la interconexión (LT 115 kV 2C y SE de Maniobras), se cruzaron las capas del proyecto con la capa de Uso de Suelo y Vegetación Series VI del INEGI (2015) con la capa de información del FV (figura 2).

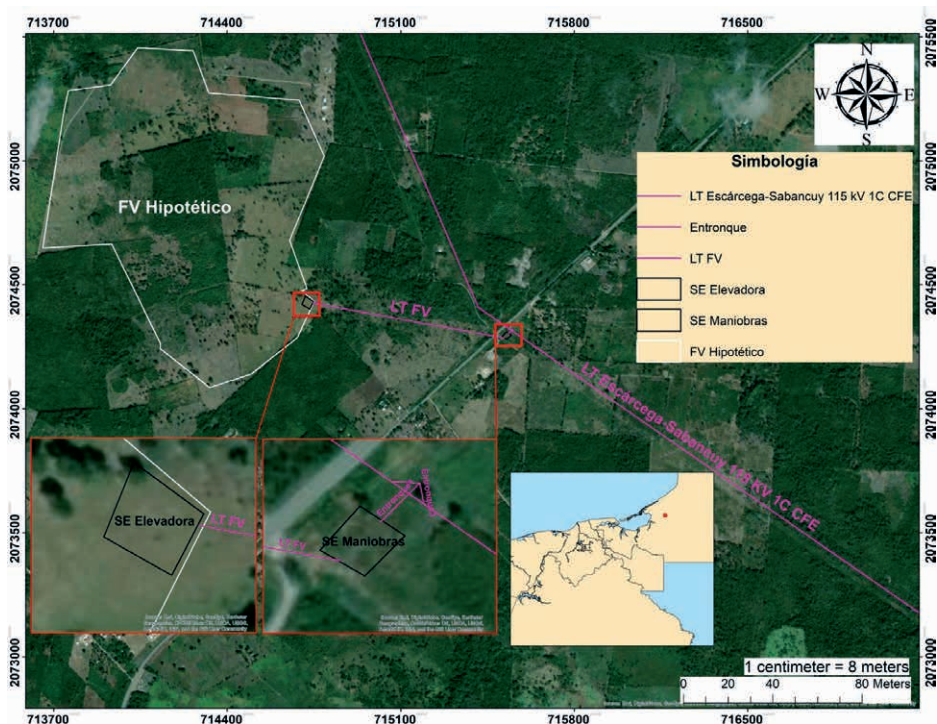


Figura 1. Área de estudio del FV Hipotético y sus obras asociadas para la transmisión y la transformación de la energía eléctrica (interconexión al SEN).

Matriz propuesta y cálculos para evaluar los costos económicos y ambientales

Con base en la información de la base de datos en The Economics of Ecosystems and Biodiversity (www.teebweb.org), se obtuvieron los valores de los servicios ecosistémicos identificados para los ecosistemas en la figura 2. Los valores de los servicios ecosistémicos se multiplicaron por la superficie

a removerse debido al proyecto hipotético planteado, y de esta forma se obtuvo el valor total por servicios ecosistémicos perdidos. Estos valores se compararon con el monto de inversión económica y los programas de compensación señalados por la MIA y el ETJ, con la finalidad de estimar el costo de oportunidad entre la realización del proyecto y la conservación de los servicios ecosistémicos.

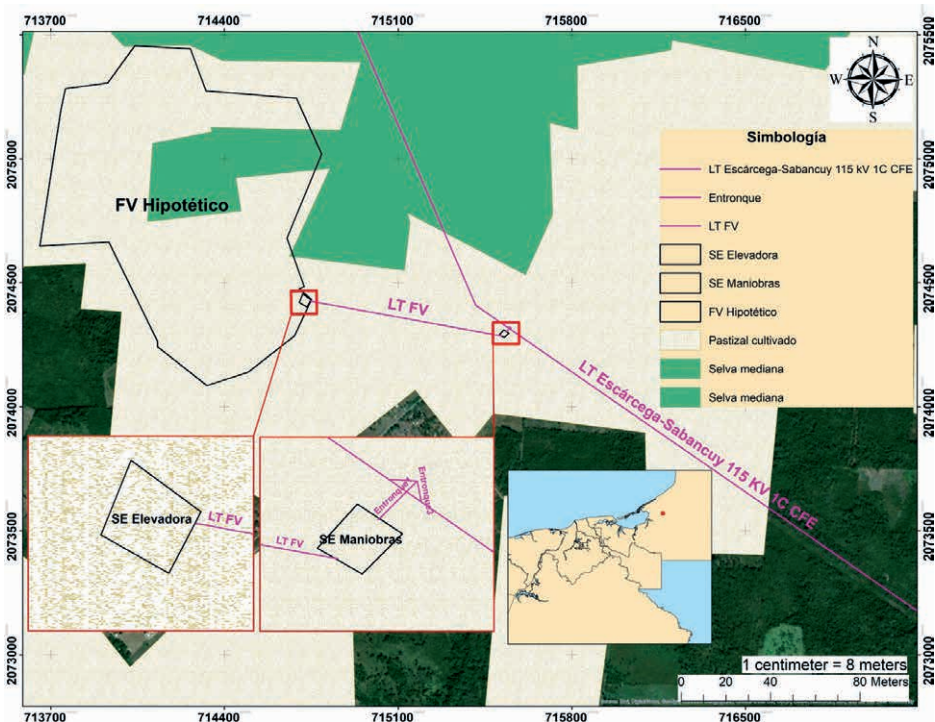


Figura 2. Uso del suelo y vegetación del área en donde se desarrollará el FV Hipotético y sus obras asociadas para la transmisión y la transformación de la energía eléctrica (interconexión al SEN).

Resultados

Uso de suelo y vegetación

El FV Hipotético tendrá un impacto sobre el cambio de uso del suelo y de la vegetación de 82.32 ha sobre los pastizales y de 17.49 ha sobre la selva mediana. Es decir, el cambio de uso de suelo y vegetación para desarrollar una capacidad instalada de 30 MW tendrá un impacto total de 99.81 ha. Mientras que las obras asociadas por la transmisión y la transformación tendrán un impacto sobre los pastizales de 31.50 ha. En total, el proyecto hipotético planeado tendrá un impacto en el cambio de uso de suelo y de la vegetación de 131.31 ha (tabla 6).

Costo por las obras, estudios y la compensación ambiental

Como se puede observar en la tabla 7, el costo total de las obras y estudios es de \$92.4 millones de pesos mexicanos, mientras que el costo por medidas de compensación ambiental es de \$7.6 millones de pesos mexicanos, lo que representa el 7.8 % del costo total de las obras y los proyectos. Esto manifiesta la disparidad entre el costo erogado por los proyectos de generación de energía eléctrica y las medidas de compensación ambiental derivadas de los impactos ambientales.

Tabla 6. Cambio de uso del suelo y de la vegetación por el FV Hipotético de 30 MW de capacidad instalada y sus obras transmisión y de transformación de la energía eléctrica.

Obra	Pastizales (ha)	Selva mediana (ha)	Subtotal (ha)
FV Hipotético.	82.32	17.49	99.81
Transmisión y transformación.	31.50		31.50
Sumatoria total.	113.82	17.49	131.31

La transmisión y la transformación incluye el derecho de vía de la LT FV 115 kV 2C y del entronque con la LT Escárcega-Sabancuy 115 kV 1C CFE; así como la SE de Maniobras. La SE Elevadora se encuentra dentro del polígono del FV Hipotético.

Tabla 7. Costo total de obras y estudios, por compensación ambiental y el porcentaje que representa la compensación ambiental sobre el total del costo.

Obras y estudios	Costo total de obras y estudios	Costo por compensación ambiental	Porcentaje
SE-Elevadora.	83 880 919		
LT 115 kV 2C.	4 130 596		
MIA.	2 966 069	2 396 387	
ETJ.	6 313 851	5 167 491	
Total.	97 291 435	7 563 878	7.8

Los costos están expresados en pesos mexicanos.
Los costos por compensación ambiental incluyen el pago al Fondo Forestal Mexicano.

Diferencias entre la compensación ambiental y el valor de los servicios ecosistémicos

En la tabla 8 se muestra el valor económico de los servicios ecosistémicos que se perderán por el cambio de uso de suelo del proyecto hipotético. Los pastizales son el tipo de ecosistema y vegetación que tendrá la mayor pérdida económica por el cambio de uso del suelo y la vegetación por la generación de energía eléctrica y las obras

asociadas para la transmisión y la transformación de la energía eléctrica. Además, al comparar el costo de obras por compensación ambiental de \$7.6 millones de pesos mexicanos (tabla 7) con el valor total perdido de \$27 794 194 pesos mexicanos (tabla 8), existe una diferencia de \$3.7 pesos/ha. Esto significa, que el valor económico de la pérdida de los servicios ecosistémicos es 3.7 veces mayor que el costo de las medidas de compensación.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Los bienes y servicios ecosistémicos son la base para la existencia y el desarrollo de la sociedad como la conocemos. Sin embargo, el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica “limpia” son necesarios debido a la creciente demanda de energía eléctrica en México. Por tal motivo, es necesario que los tomadores de decisiones reformulen los actuales instrumentos de compensación ambiental con base en la concepción del valor de los servicios ecosistémicos y de esta forma, establecer un instrumento que considere el

costo de oportunidad entre los proyectos y los servicios ecosistémicos perdidos con la finalidad de plantear tarifas de compensación ambiental que se aproximen al valor de los servicios ecosistémicos.

Por otro lado, la construcción de los tabuladores de compensación ambiental establecidos en las leyes y reglamentos federales deben considerar el contexto particular de las diferentes áreas de estudio tales como la gobernanza de las comunidades en el manejo de los recursos naturales. Esto significa que los tabuladores de compen-

Tabla 8. Valor económico de los servicios ecosistémicos perdidos por el cambio de uso del suelo del proyecto hipotético por tipo de ecosistema y vegetación.

Obras	Pastizales	Selva mediana	Subtotal
FV Hipotético.	17 631 698	3 415 655	21 047 354
Transmisión y transformación.	6 746 840		6 746 840
Valor total perdido.	24 378 539	3 415 655	27 794 194

Los valores monetarios de los servicios ecosistémicos están expresados en pesos mexicanos.

sación ambiental necesitan ser construidos con base en características específicas como la percepción, el valor, el uso y el manejo que emplean las comunidades de sus ecosistemas. Por ejemplo, la percepción y la gobernanza de los recursos naturales varía entre áreas como el istmo de Tehuantepec y su relación con la ocupación superficial de los proyectos eólicos (Juárez-Hernández y León, 2014; Zárate-Toledo *et al.*, 2019) y la que establecen comunidades localizadas en el estado de Tlaxcala y los proyectos de

generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos.

En síntesis, los tomadores de decisiones representados a partir de instituciones como SEMARNAT y SENER, necesitan considerar en sus instrumentos de evaluación un enfoque de servicios ecosistémicos con base en la gobernanza de las comunidades sobre todo cuando se trata de grupos en estado de vulnerabilidad social o bien, grupos indígenas.

Conclusiones

1. Cambio de uso de suelo y vegetación.

Tal y como se señaló en el presente capítulo, En México, y en particular en la península de Yucatán, existe una necesidad de primer orden por generar energía eléctrica (SENER, 2017), sobre todo, cuando se trata de sistemas de generación “limpios”. Sin embargo, los impactos negativos como los aquí analizados, obligan a un redimensionamiento y revisión de los actuales instrumentos de gestión de impacto ambiental (MIA) y de cambio de uso de suelo forestal (ETJ). Aun cuando el ETJ basa el centro de su análisis en los criterios de excepcionalidad para justificar el cambio de uso de suelo forestal; así como un análisis cuantitativo y económico de los servicios ambientales y de su valor (Cámara-de-Diputados, 2014b), no existe una metodología dentro del reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable que establezca lineamientos técnicos para la evaluación y la valoración de los servicios ambientales. De esta forma, es posible que la evaluación y la valoración se los servicios ambientales o ecosistémicos (llamados así a lo largo del presente capí-

tulo) sean subvalorados con la finalidad de otorgar mayor peso a los proyectos de infraestructura eléctrica.

2. Valor de los servicios ecosistémicos vs compensaciones ambientales.

En el presente ejercicio hipotético se mostró que el valor de los servicios ecosistémicos es mayor que el costo por las compensaciones ambientales (tabla 8), esto sólo con base en la información obtenida del The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, por su acrónimo en inglés). Sin embargo, para un análisis más detallado y generar una propuesta específica para la elaboración del Capítulo IX y X de los ETJ, es necesario considerar valoraciones de servicios ecosistémicos hechas específicamente para los ecosistemas y áreas de estudio tal y como lo realizaron Vázquez-González *et al.* (2015, 2016, 2019), para el caso de los humedales costeros y los manglares. De esta forma, los elementos a considerar tanto en el valor de los ecosistemas podrán tener un valor aproximado con mayor precisión.

En síntesis, es innegable la necesidad de la generación de energía eléctrica en la pe-

nínsula de Yucatán; sin embargo, los instrumentos de gestión ambiental de la SEMARNAT tienen el reto de evaluar los proyectos de generación de energía “limpia” no sólo en función de los impactos ambientales y las metodologías convencionales establecidas en el marco normativo ambiental actual, sino también, considerar elementos cuantitativos y cualitativos como la valora-

ción y el enfoque de los servicios ecosistémicos, lo cuales son los beneficios que los seres humanos perciben de los ecosistemas por su existencia, sobre todo, en las comunidades rurales en donde sus medios de vida están íntimamente ligados al proceso de gobernanza y manejo de los recursos naturales.

Literatura citada

- Cámara-de-Diputados, 2014a. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México. 123 p.
- Cámara-de-Diputados, 2014b. Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México. 58 p.
- CENACE, 2018. Diagramas unifilares del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2023. Programa de ampliación y modernización 2018-2032. Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), Ciudad de México.
- CFE, 2012. Manual para el diseño electromecánico de líneas de transmisión aéreas. Comisión Federal de Electricidad (CFE), Ciudad de México. 355 p.
- CFE, 2017. Manual de diseño civil para líneas de transmisión aéreas. Comisión Federal de Electricidad (CFE), Ciudad de México. 262 p.
- DOF, 2014a. Ley de la Industria Eléctrica. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México. 71 p.
- DOF, 2014b. Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México. 41 p.
- DOF, 2014c. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México. 29 p.
- DOF, 2015. Ley de Transición Energética. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México. 40 p.
- DOF, 2018. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México. 69 p.
- INEGI, 2010. Censo general de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Ciudad de México.
- INEGI, 2015. Uso de Suelo y Vegetación Serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Ciudad de México. www.inegi.org.mx
- Juárez-Hernández, S., y G. León, 2014. Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del Desarrollo*, 45(178): 139-162.
- SENER, 2017. Balance Nacional de Energía. Secretaría de Energía (SENER), Ciudad de México. 129 p.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, A. Juárez, N. Rivera-Guzmán, R. Monroy, e I. Espejel, 2015. Trade-offs in fishery yield between wetland conservation and land conversion on the Gulf of Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 114: 194–203.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, M. E. Hernández, A. Campos, I. Espejel, y J.L. Fermán-Almada, 2016. Mangrove and Freshwater Wetland Conservation Through Carbon Offsets: A Cost-Benefit Analysis for Establishing Environmental Policies. *Environmental Management*, 59(2): 274–290.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, B.E. Escamilla-Pérez, S. Díaz de León y L.A. Peralta Pérez, 2016. p. 186-198. Valor económico de los ecosistemas. En Moreno-Cas-

- asola, P. (ed.). Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC, Xalapa-Veracruz, México.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, L.A. Peralta Peláez, R. Monroy, e I. Espejel, 2019. The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: An analysis of flood damage by hurricane impacts, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37: 101180.
- Zárate-Toledo, E., R. Patiño, J. Fraga, 2019. Justice, social exclusion and indigenous opposition: A case study of wind energy development on the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Energy Research & Social Science*, 54: 1-11.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Las dunas costeras y ZOFEMAT: un vínculo necesario para fortalecer la gestión de las costas

*O. Cervantes, U. Urrea-Mariño, A. López-Urban,
S. Cortina-Segovia, Y. Ventura Díaz y E. Quiroz Villanueva*

Resumen

Las dunas costeras son un ecosistema que, junto con las playas, conforman un sistema complejo y dinámico que es soporte de procesos naturales y actividades antropogénicas; no obstante, sus reconocidas funciones socio-ambientales y ahora como infraestructura natural ante fenómenos climáticos, estos ambientes arenosos no cuentan con un esquema, elemento jurídico o política ambiental específico de gestión y/o protección específica. La Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT), y su reglamento están asociados a las playas; dejando de lado a las dunas, parte funcional de las mismas; es por ello que en este trabajo se muestra un análisis y revisión de la legislación ambiental costera para efectos de fundamentar la vinculación de las dunas

a la ZOFEMAT y a otros elementos administrativos factibles de crear instrumento legal complementario a los ya existentes para integrar a las dunas costeras al esquema de administración de la ZOFEMAT con fines de protección y aprovechamiento sustentable de este activo ambiental costero.

Palabras clave: dunas costeras, ZOFEMAT, vulnerabilidad, legislación ambiental.

Introducción

En los mares y costas mexicanas existe una gama de actividades productivas de transporte, servicios y recreativas (Chávez, 2010) y obras (infraestructura urbana, industrial, residencial, turística, acuícola, vial y portuaria); que han modificado su estructura y funciones ecosistémicas (SEMARNAT, 2013), destacando las dunas y las playas. Los cambios generados han sido potenciados por el efecto de los fenómenos naturales, el ascenso del nivel del mar y las condiciones propias de cada sitio, lo que ha traído consigo efectos diversos sobre las propias actividades económicas e infraestructura que se encuentra ahí asentada.

La construcción de infraestructuras permanentes sobre las dunas embrionarias y primarias genera cambios en su estructura y función como reservorios de arena; dado que éstas se convierten en obstáculos que interrumpen o desvían el flujo de agua y los sedimentos, lo que modifica el balance de arena al disminuir su disponibilidad y transporte natural entre las dunas costeras y la playa, lo que favorece procesos de erosión y retroceso de la línea de costa (SEMARNAT, 2013), con la consecuente pérdida de los servicios ambientales como barreras naturales de defensa litoral contra el efecto de tormentas (vientos, oleaje, corrientes, inundaciones y tsunamis), así como sustrato de procesos y hábitat de especies animales y vegetales; y dados estos atributos y

funciones que actualmente en países como los Estados Unidos se les considera, a las dunas, como infraestructura natural, prioritaria para su restauración y conservación (cos, 2018).

Martínez *et al.* (2014) definen “duna” (o similares) como una palabra vieja y se remonta a los antiguos celtas (alrededor del siglo III antes de Cristo). En particular, se cree que los celtas de las costas de Holanda y Flandes fueron los primeros en utilizar las dunas costeras, y usaban la palabra “dún” para referirse a “ellas”. Con este término se hiciera referencia a las partes altas de las dunas, a las “colinas”. Posteriormente, los romanos entraron en contacto con estos asentamientos celtas en los Países Bajos y usaron la palabra “dunum”, de donde se derivó la palabra española, italiana y portuguesa “duna”. Estas “colinas de arena” o dunas, también son conocidas como arenales o “médanos”. La palabra médano surge del árabe “máydán” y hacía referencia a las “explanadas o montones de arena propios para combatir”. Sin embargo, las definen como “formaciones arenosas de origen eólico que se desarrolla a lo largo de cualquier costa donde haya suficiente sustrato suelto y que sea susceptible de ser transportado por la acción del viento”.

El manejo y conservación de las dunas costeras es una asignatura pendiente en México y buena parte del planeta. Las du-

nas costeras forman parte de un sistema de intercambio dinámico de arena y son interdependientes con la playa arenosa, lo que conforma al sistema playa dunas costeras (Martínez *et al.*, 2004; Psuty, 2004); el cuál se ha venido colonizando bajo una óptica que divide las playas de las dunas; siendo las primeras consideradas como atractivo natural primario, un recurso natural turístico y como objeto de publicidad y atracción que es utilizado por el sector turístico de sol y playa a nivel de países y estados, para el impulso de bienes raíces costeros, la promoción de viajes, aerolíneas, alimentos y bebidas e incluso como sitio de fomento a la salud; por ende, se le puede denominar un activo ambiental, al ser parte y soporte de un sector económico, representado por hotelería, servicios, proveeduría, y sus efectos en el ámbito laboral y de bienestar social que dependen del mantenimiento de sus características; en específico la presencia y el color de sus arenas, así como la calidad del agua de mar y mantenimiento de la biodiversidad marino costera representada por

moluscos, aves, peces y vegetación de dunas entre otros; permite a los destinos turísticos distinguirse, promocionarse y ser competitivos ante otros del segmento de sol y playa (Cervantes, 2019); todo esto sin considerar a las dunas, no obstante, son parte de un complejo biofísico, socio ambiental y reconocido como una zona de transición, un ecotono.

Las dunas son formas constituidas por arena depositada por el viento, que se convierten en sistemas naturales muy singulares de las costas arenosas (De Cabo, 2010), presentan una altura variable, desde menos de un metro hasta centenares de metros. Se encuentran detrás de la zona de playa, donde llegan las mareas más altas (Martínez, 2008).. Las dunas son formas constituidas por arena depositada por el viento, que se convierten en sistemas naturales muy singulares de las costas arenosas. Es decir, son montículos de arena que presentan una altura variable, desde menos de un metro hasta centenares de metros (De Cabo, 2010).

Tipos de Dunas

La formación de las dunas requiere la existencia de tres elementos: sedimentos de tamaño adecuado, viento intenso y obstáculos. Cuando el viento alcanza determinada velocidad, generalmente superior a 4.5 m/s; levanta los granos de arena que, al chocar con un obstáculo, caen formando montículos (Martínez, 2008; De Cabo, 2010).

Así, y con base en las características morfo dinámicas, las dunas costeras pueden ser totalmente móviles, semi - móviles o estabilizadas. Las dunas se consideran activas o móviles cuando hay posibilidad de que

la arena expuesta, seca y sin vegetación, sea susceptible a ser movida por la acción del viento, oleaje y mareas. Cuando la arena de las dunas móviles o semimóviles se mueve con el viento provoca el enterramiento o desenterramiento de plantas, la arena se mueve en el sentido del viento dominante y ello provoca que la duna en su conjunto avance. En estos sistemas una duna puede moverse más de 15 metros en un año, cubriendo lo que está a su paso. Las dunas fijas, estabilizadas o relictas están cubiertas por vegetación y no presentan transporte de sedimentos. Cuando las dunas fijas

pierden su cubierta vegetal, derivado de su colonización no planificada retornan a una condición activa o móvil; dando lugar a procesos erosivos y sus efectos en la configuración de la costa.

La conformación de las dunas permite identificarlas como embrionarias, primarias, secundarias y terciarias; las primeras se forman en el fondo de la playa y conforme se aglutinan dan lugar a las dunas frontales (Hesp y Walker, 2013); este cordón es vital para el mantenimiento de las condiciones biofísicas de la costa, puesto que recibe el impacto directo del oleaje derivado de las mareas astronómicas, mar de fondo, marea de tormentas y otros fenómenos hidrometeorológicos. En una secuencia hacia tierra se ubican las dunas primarias. En éstas, el movimiento de la arena y la influencia marina determina una colonización vegetal tolerante a la salinidad y al movimiento de arena. El siguiente segmento tierra adentro son las dunas secundarias en donde la influencia marina es menor. Aquí el movimiento de arena es reducido, puesto que la

cobertura vegetal es de mayor envergadura y diversidad; Al final se encuentran las dunas terciarias con un sustrato estable y en donde el movimiento de arena es prácticamente nulo (San Martín, Ramírez, y San Martín, 1992).

En términos de servicios ambientales, las dunas costeras funcionan como barreras naturales de protección que actúan como defensa ante fenómenos hidrometeorológicos extremos e inundaciones; son ecosistemas clave para la recarga de acuíferos y para amortiguar la intrusión salina. Además, son hábitat de especies de flora y fauna endémicas o en alguna categoría de riesgo o amenaza y tienen un valor estético y cultural (Ranwell y Boar, 1995; Alcamo *et al.*, 2003; Martínez *et al.*, 2004; Seingier *et al.*, 2009). Asimismo, albergan una alta diversidad de especies de flora y fauna, que incluye especies endémicas y amenazadas, además son sitios de alimentación y de anidación de diversas especies de aves migratorias y de tortugas marinas, entre otras (Alcamo y Bennett, 2003).

Dunas Costeras: vulnerabilidad y resiliencia

Peña Alonso (2015) expone que durante las últimas décadas las playas y dunas son entornos favoritos y frecuentados por los seres humanos, lo que ha resultado en una alteración de sus condiciones naturales y de exposición a los factores a las que están sujetas y, por ende, su susceptibilidad y resiliencia. Estos cambios se asocian a una serie de impactos derivados de acciones antrópicas diversas (figura 1) y que se enumeran a continuación como a) Alteración del suministro del sedimento por la rigidización de las cuencas hidrográficas y la

costa; b) Variaciones del perfil de la playa, relacionadas con el tránsito de vehículos; 3) Reducción de la superficie de la playa y dunas causada por la urbanización y la artificialización del borde de la playa y la asignación de áreas para usos recreativos cercanos a la orilla de la playa; 4) Contaminación por vertidos antrópicos (autorizados y no autorizados); 5) Alteración o desaparición de hábitats naturales y de la diversidad biológica; 6) Cambio de uso del suelo; 7) Disminución del valor estético y recreacional y 8) La construcción de di-

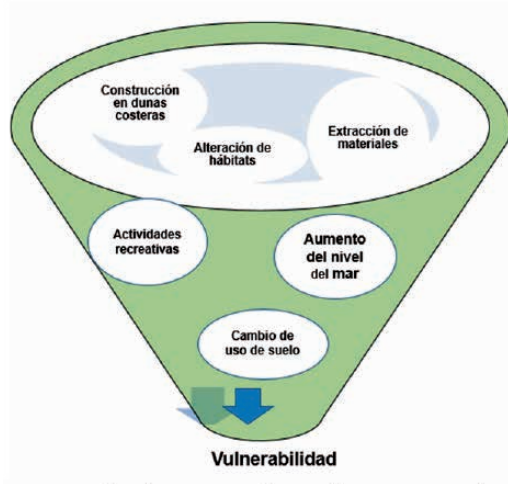


Figura 1. Impactos para el sistema playa-duna que dan lugar a un estado vulnerabilidad y pérdida de resiliencia (Fuente: elaboración propia).

ques o rompeolas resultando en un estado de vulnerabilidad del ecosistema (dunas y playas). Cabe mencionar que las numerosas causas que generan la vulnerabilidad, como es la presencia de diques o rompeolas, las variaciones de la línea de costa, la ausencia de dunas embrionarias, la ausencia de rocas etc. Silva *et al.* (2016) menciona que existe una relación directa entre las dunas costeras

y su resiliencia con la colonización humana en las costas que se espera aumente en las próximas décadas; lo que aunado a su proximidad al mar se suma a ciclones tropicales fuertes potencialmente más frecuentes y al aumento del nivel del mar, por lo que la vida humana, la propiedad y la infraestructura están amenazadas.

Las Dunas en México

En México, la pérdida de vegetación de dunas costeras se ha estimado en 14.2 % (259 km²) desde 1976 hasta 2000 (Seingier, 2009); siendo el golfo de México la región que más vegetación perdió con 77 km² (Moreno-Casasola *et al.*, 1998; Martínez, 2009; Seingier *et al.*, 2009). En las últimas décadas el aumento de la población en zonas costeras ha aumentado la presión sobre los ecosistemas costeros, tales como las dunas.

El ordenamiento y gestión de este recurso parte del estado de su conocimiento; Jiménez-Orocio *et al.* (2015), exponen que en México; el 47% de la investigación científica se enfoca en el estudio de la ecología vegetal, centrándose en las costas del Atlántico, en donde Veracruz destaca por número de sitios estudiados (86). Así, se ha publicado la distribución de 844 especies de plantas y de 166 de animales e identificado 400 interacciones bióticas, que mues-

tran su importancia en el éxito reproductivo de plantas y en los procesos de sucesión vegetal. Las investigaciones evidencian al desarrollo antropogénico como el principal factor de estrés sobre los ecosistemas dunares.

La situación en el litoral del Pacífico es descrita por Martínez *et al.* (2014), quien reporta un incremento de asentamientos humanos que se refleja en las concesiones de los hábitats, el aumento de contaminantes en dichas zonas, la pérdida de la biodiversidad, el uso de dunas costeras para la ganadería, agricultura y una demanda por el uso y aprovechamiento de la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT).

Respecto de la situación de las dunas, Gallego-Fernández *et al.* (2006) identifica 5 factores como estresores y perturbadores de las dunas costeras, siendo estas: geomorfológico, marino, eólico, vegetal y humano, los cuales determinan la capacidad del ecosistema.

Orepeza-Orozco *et al.* (2011) mencionan que el cambio de uso de suelo es el principal factor de degradación que determina la vulnerabilidad de las dunas costeras.

Por su parte, Carrillo-Rodríguez (2016) propone una serie de indicadores para la caracterización de campos dunares: a) Huellas de autos; b) Pisadas, c) Residuos nuevos, d) Residuos antiguos, e) Vestigios de fogatas, f) Caminos o estacionamientos de coches, g) Uso de maquinaria para limpieza de playa, h) Brechas de dunas, g) cobertura vegetal, h) Raíces expuestas, g) Porcentaje de la duna con construcciones cercanas y h) Porcentaje de la duna consolidada.

Otros indicadores factibles para el análisis del estado de las dunas son: a) altura, b) ancho, c) distancia del inicio de la vegetación a las construcciones, d) tipo de infraestructura, e) permanente o temporal, f)

tipo de materiales de construcción de la infraestructura (madera, concreto, otros), g) cantidad de cordones de duna, h) cantidad de visitantes y i) capacidad de carga (metros cuadrados disponibles por visitante).

Estos datos antes descritos hacen necesario estructurar un esquema de protección y conservación de los sistemas de dunas costeras en México, partiendo que la legislación mexicana incluye elementos que propician y son factibles de proteger de las dunas en todos los niveles de gobierno: federal, estatal y municipal. En este orden de ideas destaca la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT), franja del territorio delimitada técnicamente y físicamente a partir de la norma NOM-146-SEMARNAT-2017 (DOF, 2017), no considera a las dunas, que como se describe en párrafos anteriores, es parte funcional del binomio playa – duna como un sistema complejo derivado de las interacciones entre la parte marina y terrestre. La no inclusión que las dunas en la delimitación y definición de ZOFEMAT permite que éstas se encuentran dentro de un vacío legal, puesto que no existe un instrumento enfocado a su protección, como sucede con otros ecosistemas como es el manglar; es por ello que en este trabajo se plantea el crear este vínculo entre ZOFEMAT y las dunas como una herramienta para el mantenimiento y gestión de las costas. Este escenario resultaría en acciones prioritarias por parte del gobierno federal para la gestión y ordenamiento de la zona costera, que por lo menos es parte del discurso oficial, para que se considere de manera integral como un tema de seguridad nacional, que incluya los riesgos naturales y la vulnerabilidad de la población, infraestructura, autosuficiencia alimentaria, manejo sustentable del agua, etc. Por ello, se está impulsando una política ambiental nacional sobre océanos y

costas que proporcione bases para un desarrollo sustentable, así como la intención de contar con ordenamientos ecológicos ma-

rinios y terrestres que se encuentran dentro de la zona costera (Chávez, 2010).

Manejo y conservación de dunas a nivel internacional

A partir de la firma del Convenio de la Biodiversidad en la Cumbre de la Tierra de 1992, algunos países emprendieron medidas para manejar y conservar los ecosistemas de dunas costeras, tal es el caso de Reino Unido, con el diseño e implementación de Habitat Action Plan for Sand Dunes, proceso que duró cuatro años: de 1994 a 1999 (Duncan, 2001).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN por sus siglas en inglés) también ha dirigido investigaciones al respecto del estado de las dunas costeras en el planeta y las estrategias de manejo y gobernanzas que se han desarrollado para estos ecosistemas (Otero *et al.*, 2018; Miththapala, 2008). Con base en la literatura revisada, el continente que tiene un mayor desarrollo en la política ambiental enfocado al manejo y conservación de dunas costeras es Europa. Heslenfeld *et al.* (2007) hacen un recuento de los instrumentos más importantes para el manejo y conservación de dunas costeras en Europa,

a saber: La Convención de Bern (en donde están incluida la Red Emerald y que actualmente se llama Natura 2000¹), La Directiva de Hábitats de la Unión Europea (UE) y las políticas nacionales.

En el caso de las Directivas de Hábitat de la UE son dos en particular The Council Directive 92/43/EEC del 21 de mayo de 1992 para la conservación de los hábitats naturales y la flora y fauna silvestre y the Council Directive 79/409/EEC del 2 de abril de 1979 para la conservación de las aves silvestres. En el caso de la primera Directiva “Distingue la protección de áreas (“hábitats naturales”) y la protección de la flora y especies de fauna”. La protección de las áreas es lo más importante para la conservación de las dunas costeras. Pero también la presencia de una especie prioritaria de la Directiva sobre hábitats puede dar a un hábitat natural un cierto grado de protección. La Directiva sobre aves² tiene como objetivo proteger las aves europeas en peligro de extinción mediante la protec-

¹Con una extensión de más del 18 % de la superficie terrestre de la UE y casi el 9.5 % de su territorio marino, es la red coordinada de áreas protegidas más grande del mundo. Ofrece un refugio a las especies y hábitats más valiosos y amenazados de Europa (https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm, Unión Europea, recuperada el 31 de julio de 2019).

²En el caso mexicano, esta segunda Directiva tiene similitud con las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS). El programa de las AICAS surgió como una idea conjunta de la Sección Mexicana del Consejo Internacional para la preservación de las aves (CIPAMEX) y BirdLife International. Inició con apoyo de la Comisión para la Cooperación Ambiental de Norteamérica (CCA) con el propósito de crear una red regional de áreas importantes para la conservación de las aves (<http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>, CONABIO, recuperada el 30 de julio de 2019)

ción de áreas que son hábitats de aves seleccionadas” (Heslenfeld *et al.*, 2007).

Por su parte, Heslenfeld y colaboradores (2007) mencionan que cada país de la UE, los países de accesoión y los países no miembros de la UE deben adecuar las Directrices antes mencionadas en sus políticas nacionales. Esta inclusión es obligatoria para los Estados miembros y de accesoión y, para los países no miembros en caso de querer formar parte en un futuro de la UE. Además, el incluir las Directivas en las políticas nacionales les permite a los países acceder a fondos de la UE que apoyen las medidas de manejo y conservación de dunas costeras. Los autores mencionan los casos de Portugal, Polonia y Dinamarca como ejemplos del manejo y conservación de dunas.

Otros países europeos que tienen esquemas de manejo y conservación de dunas costeras son Dinamarca (Helweg, 2001; Feilberg *et al.*, 1992), Francia (Meur *et al.*, 1992), Países Bajos (Herrier *et al.*, 2001) y Reino Unido (Duncan, 2001). Los esquemas de manejo y conservación son variados. En el caso de Dinamarca existe *la Ley de Dunas Móviles* robustecida por una regulación estatal al respecto. Por su parte, Francia tiene instituciones a nivel Federal como Departamentos (en México, Secretarías) y Organismos especializados (en México, Organismos descentralizados), a nivel Estatal, Municipal y Localidad, además de

la participación de Sociedades Científicas, Organizaciones de la Sociedad Civil y Privados. Si bien esta estructura corresponde a la política ambiental en general, las dunas costeras, al ser sitios de interés biológico, son manejadas y conservadas a la par que otros ecosistemas.

Otros ejemplos de manejo y conservación de dunas costeras en Europa son la creación de Parques nacionales específicos para proteger el ecosistema de dunas costeras, tales son los casos de Sefton, Gran Bretaña (Rooney, 2001; Simpson *et al.*, 2001a, b, c; Martínez, 2009), Meijendel, Países Bajos (Martínez, 2009) y Doñana, España ((Martínez, 2009). En el caso de los dos primeros se encuentran en áreas de gran densidad poblacional, y sin embargo, las medidas de manejo y conservación han sido efectivas.

Una conclusión general que se extrae del manejo y conservación de dunas en Europa, ya sea al nivel de la Unión Europea o a nivel de países, es que el manejo y conservación de dunas debe ser parte de un esquema más amplio y complejo, como es el Manejo Integrado de Zonas Costeras y que tanto la UE como los estados europeos han desarrollado e incorporado (con diversos niveles de consolidación) en las políticas de la Unión y las estatales (Doody, 1992; Udo de Haes, 1992 Heslenfeld *et al.*, 2007)

Manejo y gestión de dunas en México³

En México, hay varios instrumentos y normativas que mencionan e inclusive definen a las dunas costeras. Tal es el caso de la Política Nacional de Mares y Costas (SEMAR, 2018) que, en su Sección I, inciso E define a las dunas costeras como el “producto de los procesos de acumulación y erosión de arena modelada por las mareas y los vientos; es adyacente a la pleamar máxima o puede extenderse decenas o centenares de metros tierra adentro. Sobre ella se establecen comunidades pioneras de herbáceas halófilas, pastos y matorrales xerófitos. De igual forma la norma NMX-AA-120-SCFI-2016 (DOF, 2016), en su apartado 3.10 las define de manera diferenciada; Dunas costeras, dunas embrionarias, dunas primarias y dunas terciaria, y de forma puntual como “Grandes acumulaciones de arena que se encuentran interconectados entre sí, influenciadas por condiciones ambientales, principalmente el viento, que las moldean y modifican su morfología”. Actualmente, están bajo una fuerte presión ocasionada por el cambio de uso del suelo para los asentamientos humanos e infraestructura turística. Son muy vulnerables debido a su baja diversidad y alta especialización a su ambiente. Recientemente se reconoció su importancia como estabilizadores del sustrato arenoso en la formación y conservación de playas, así como elemento amortiguador del impacto del oleaje sobre las costas durante eventos meteorológicos severos. Existen otros ins-

trumentos jurídicos que contienen elementos y aspectos que facilitan la protección y conservación de las dunas como elementos naturales destacados (SEMARNAT, 2013), aun cuando éstos *no las mencionen de forma explícita* en sus textos.

En la tabla 1 se describe esta estructura institucional.

En el caso de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (de aplicación obligatoria) ésta considera como objeto de protección, especies vegetales de la duna costera, identificadas y ubicadas por litoral del país; así aparecen como Amenazadas en Veracruz *Spondias radlkoferi*, *Tabebuia chrysantha*, *Tillandsia concolor*, *Dioon edule*, *Zamia furfuracea*, *Bravaisia integerrima*, *Thrinax radiata* y *Mastichodendron capiri*. Bajo protección especial: *Spiranthes torta* y *Conocarpus erectus*, la cual ocasionalmente se encuentra en las playas y *Melocactus desertsianus* está considerada en Peligro de extinción. En Yucatán *Mammillaria gaumeri* está en Peligro de extinción y las palmas *Pseudophoenix sargentii*, *Coccothrinax reddiei* y *Thrinax radiata* como Amenazadas (Moreno Casasola *et al.*, 2011; Martínez *et al.*, 2014). En estos términos, Espejel *et al.* (2017) elaboraron el inventario florístico en playas y dunas costeras más completo hasta la fecha para México⁴ y, sin embargo, mencionan que “la base de datos debe completarse con datos de sus estatus de conservación real, no solo de aquellas que

³ Un texto que muestra la puesta en marcha de los tres talleres sobre dunas costeras y humedales: futuro y conservación que se llevaron a cabo entre 2010 y 2011 y el desarrollo de la propuesta de la Ley General para la Gestión Integral y Sustentable de las Costas es el de Senado de la República LXII Legislatura, 2013a. Se sugiere consultar el artículo “La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos” escrito por Jiménez-Orocio *et al.*, 2015, donde se explora la situación actual del conocimiento de las dunas costeras en México a través de una minuciosa revisión bibliográfica

Tabla 1. Estructura institucional.

Instrumento	Descripción
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente (LGEEPA).	Art. 3, Inciso XIII Bis, como parte de la definición de Ecosistema costero ⁵ (Presidencia de la República, 2018) junto con dos de sus reglamentos: a) Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental (sin mención de las dunas costeras) (Presidencia de la República, 2014) y b) Reglamento en materia de ordenamiento ecológico (sin mención de las dunas costeras) (Presidencia de la República, 2014)
Ley General de Vida Silvestre (LGVS)	Art. 60 TER, donde se prohíbe la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos) (Presidencia de la República, 2018).
Ley de Aguas Nacionales (LAN).	Sin mención de las dunas costeras. (Presidencia de la República, 2016)
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS).	Sin mención de las dunas costeras. (Presidencia de la República, 2018)
Ley minera.	Sin mención de las dunas costeras. (Presidencia de la República, 2014)
Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano.	Art. 9, inciso II, en el cual la SEDATU expedirá normas oficiales mexicanas que tengan por objeto establecer lineamientos, criterios, especificaciones técnicas y procedimientos para garantizar las medidas adecuadas para el ordenamiento territorial, el Desarrollo Urbano y Desarrollo Metropolitano para la custodia y aprovechamiento de las zonas de valor ambiental no urbanizables, incluyendo las primeras dunas de las playas, vados de ríos, lagos y vasos reguladores de agua, para la Resiliencia urbana) (Presidencia de la República, 2019)
Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítima terrestre y terrenos ganados al mar.	Sin mención de las dunas costeras. (Presidencia de la República, 1991)
NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-	Incluye en su texto algunas especies vegetales de duna costera (SEMARNAT, 2010).
NMX-AA-120-SCFI-2016. Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. Instrumento de aplicación voluntaria.	En el glosario contiene el término Dunas; y en el texto Dunas Costeras; considera una serie de medidas de salvaguarda para las dunas en playas por certificarse, tales como la no instalación de infraestructura o en su caso detrás del segundo cordón de dunas, la no remoción de la vegetación, la no circulación de vehículos y la instalación de andadores para el tránsito de usuarios en las dunas costeras.

⁴ Se revisaron 14 herbarios nacionales y extranjeros. Se superpuso una retícula de 2 × 2 km al mapa de la costa y de las dunas costeras de México para referir todos los registros que corresponden a 2180 sitios con 12,419 ejemplares de plantas. Se calcularon índices de diversidad, similitud, diversidad taxonómica y redundancia. La flora registrada consta de 153 familias, 897 géneros y 2075 especies de plantas vasculares, las cuales representan 9.5% de la flora vascular de México.

⁵ La inclusión de la definición de Ecosistema costero en la LGEEPA se hizo mediante el Decreto de reforma y adiciones a la LGEEPA, publicado en el DOF 23/04/2018. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5520365&fecha=23/04/2018. Acceso 31/07/2019.

están en la NOM-059-SEMARNAT-2010, ya que la deforestación y fragmentación cerca de las ciudades o nuevos desarrollos turísticos es motivo de pérdida de biodiversidad en las playas y dunas de México”.

Algunas especies animales enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y que tienen por hábitat el sistema playa-dunas costeras son el playero rojizo *Calidris canutus*, la tortuga verde *Chelonia mydas*, la tortuga prieta *Chelonia mydas agaziisi*, la tortuga golfinia *Lepidochelys olivacea*, la tortuga caguama *Caretta caretta*, la tortuga laúd *Dermochelys coriacea*, la tortuga carey *Eretmochelys imbricata*, la tortuga lora *Lepidochelys kempii* (SEMARNAT *et al.*, 2013).

Asimismo existen otros instrumentos como los decretos de Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Marinas Protegidas (AMP) con presencia del ecosistema de dunas costeras o específicas para la protección de dunas costeras⁶, el establecimiento de campamentos tortugueros, “Declaratorias para hábitats críticos de vida silvestre de acuerdo al Art. 63 de la Ley General de Vida Silvestre; vedas forestales o de aguas nacionales; elaboración de programas de ordenamiento pesquero y planes de manejo que [los] hagan operativo [s]; áreas de refugios para especies acuáticas; programas de restauración; programas de ordenamiento ecológico; programas de manejo de cuencas; establecimiento de Comités Estatales, Municipales y Locales para el manejo de humedales y dunas costeras; elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental en estos ecosistemas (González Azuara,

2013)” y la declaración y mantenimiento de las AICAS y sitios Ramsar.

En el caso de los instrumentos para el Ordenamiento Territorial, las dunas costeras están contenida en las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) y según el uso asignado se define el estatus de conservación o aprovechamiento que tengan las dunas costeras. Ejemplos de lo anterior se pueden ver en POETCY (2007) y García de Fuentes *et al.* (2013).

Existen otro cuerpo de instrumentos técnicos en los cuales se considera el manejo y la conservación de las dunas costeras de forma más acotada en la operación en campo, pero muy basta en su definición y detalle. Tal es el caso de la Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas (y que cancela la NMX-AA-120-SCFI-2006) (SE, 2016), así como el Manual de Implementación de la NMX-AA-120-SCFI-2016 (SEMARNAT, 2019). Debido a que ambos documentos son específicos para regular la calidad de las playas en México, hay seis definiciones de dunas costeras, además de múltiples acciones encaminadas a su manejo y conservación. La limitación de la Norma Mexicana es que sólo se aplica a playas que tengan una certificación voluntaria.

Actualmente y debido a la emergencia ambiental que supone el arribazón masivo de Sargazo (*Sargassum fluitans* y *S. natans.*), la SEMARNAT (2019) ha publicado los lineamientos técnicos y de gestión para la atención de la contingencia ocasionada por el sargazo en el caribe mexicano y el golfo de

⁶ Al respecto, se sugiere revisar el caso de la Reserva ecológica la Mancha Veracruz, en donde investigadoras como Patricia Moreno-Casasola y María Luisa Martínez han trabajado durante muchos años. Si bien la Reserva tiene ecosistema de Manglar dentro de su polígono, el trabajo que se ha hecho en dunas costeras es el más basto en México (García *et al.*, 2011; Piñar-Álvarez *et al.*, 2017).

México. En ese documento se menciona la importancia de las dunas costeras, las acciones que se deben evitar durante la limpieza del sargazo de la playa que dañan las dunas costeras y la importancia de las mismas en estado saludable para la anidación de las tortugas marinas.

Cabe mencionar que hay elementos que se deben considerar cuando se están diseñando estrategias de manejo y conservación que no son necesariamente instrumentos o normativas. Tal es el caso del régimen de propiedad bajo el cual se encuentran, en este caso las dunas costeras. González Azuara (2013) menciona que hay problemas importantes aun dentro de las ANP por la tenencia de la tierra en la cual se encuentran los ecosistemas de dunas costeras. Wiebe *et al.* (1998) mencionan que los derechos de propiedad son claves como herramientas de políticas para el desarrollo sustentable. En el estudio de McKenna *et al.* (2005) en Irlanda, correlacionan el tipo de tenencia de la tierra como restricción legal infravalorada sobre la gestión de la conservación de las dunas costeras. Ellos concluyen que las dunas costeras que eran propiedad pública bajo la administración de una autoridad y en propiedad privada bajo el cuidado de una ONG, eran los esquemas de tenencia de la tierra que mejor conservaban las dunas.

En los casos de Francia y Reino Unido (Meur *et al.*, 1992), ambos países cuentan con una institución especializada que pertenece al gobierno la cual compra los terrenos que identifica como áreas de interés biológico o de conservación, logrando así que estas áreas queden bajo un régimen de propiedad público, pero con estatus de conservación⁷.

No obstante lo anterior, en México no existe “una legislación específica que tenga por objeto los ambientes costeros, mismos que engloban al sistema playa-duna-humedales; es decir se carece de una legislación costera, entendida por costa, en términos generales, el espacio geográfico de interrelación entre la tierra y el mar”. (Senado de la República LXII Legislatura. 2013b) .

Con base en lo anterior, se da pie a que en este capítulo se postula al marco legal que actualmente regula la ZOFEMAT como herramienta para la protección de las dunas costeras.

Desde la perspectiva legal, el artículo 27 de nuestra Constitución establece la propiedad originaria de la Federación sobre las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional. De forma más específica, la Ley General de Bienes Nacionales (LGBN) establece los bienes que constituyen el patrimonio de la Nación, entre la que se encuentra la ZOFEMAT; y por ende se consideran las dunas costeras.

⁷ Francia: The Coastal Conservancy, Reino Unido: The National Trust

Análisis de marco regulatorio en dunas

Por ello, y en cumplimiento al párrafo sexto del artículo constitucional antes mencionado, el uso o el aprovechamiento de los recursos por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas, no podrá realizarse sino mediante concesiones, otorgadas por el Ejecutivo Federal. La concesión es un acto administrativo por el que el Estado otorga a un particular la explotación, uso o aprovechamiento de bienes del dominio público; que para esta iniciativa es la ZOFEMAT.

Delimitación de la ZOFEMAT

El deslinde y la delimitación de la ZOFEMAT debe ser la base sobre la que se otorguen las concesiones. La LGBN en su artículo 119 establece como obligación de la SEMARNAT el levantamiento de dicha información. Sin embargo, en diciembre de 1994 el Congreso de la Unión aprobó, entre otras modificaciones a la Ley Federal de Derechos (DOF: 31 diciembre 1981), la adición de un párrafo al artículo 232, para establecer que en los casos en que las entidades federativas y municipios hayan celebrado con la Federación convenio de colaboración administrativa en materia de los ingresos que se obtengan por el cobro de los derechos por el uso, goce o aprovechamiento de los inmuebles ubicados en la zona federal marítimo terrestre, podrán destinar éstos, cuando así se convenga expresamente, a la vigilancia, administración, mantenimiento, preservación y limpieza de la citada zona, así como a la prestación de los servicios que se requieran. En dicho convenio de colaboración en la cláusula Séptima se especifica que, dentro del concepto de administración, la cual se llevará a cabo de conformidad con lo dispuesto en la Sección II del

Anexo I, queda incluida la delimitación de la zona federal marítimo terrestre, la actualización del censo de las ocupaciones de la referida zona, así como su zonificación ecológica y urbana.

Lo anterior implica que los municipios con el recurso recaudado deben desarrollar estos instrumentos fundamentales para la administración de las concesiones.

Desafortunadamente, son pocos los municipios que cumplen con esta obligación y la DGZOFEMATAC no tiene recursos ni capacidad para poder mantener actualizados estos instrumentos por lo que no existe esta primera etapa en la que se pudiera tener los elementos de un ordenamiento ecológico (en cualquiera de sus niveles) incluido.

Otro elemento normativo que debe revisarse por ser parte del procedimiento para el otorgamiento de concesión es la NOM-146-SEMARNAT-2017 (DOF: 15 diciembre 2017) que establece la metodología para la identificación, delimitación y representación cartográfica que permitan la ubicación geográfica de la Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar, lo que implica los requisitos para que el promovente entregue los planos del área solicitada en caso de que no exista delimitación de la ZOFEMAT actualizada.

Análisis del trámite

SEMARNAT-01-001

“Solicitud de Concesión”

Este apartado plantea un análisis en los criterios ambientales y técnicos que se toman en cuenta para otorgar una concesión, partiendo de la importancia de este trámite toda vez que es el único instrumento a través del cual se regula la ZOFEMAT.

Según el Anexo “Solicitud de registro, actualización, modificación y/o cancelación de la información de los trámites en el Catálogo Nacional de Trámites y Servicios” de la CONAMER:

- Formato SEMARNAT-01-001
“Solicitud de Concesión”

Es la concesión de zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar y a cualquier otro depósito formado con aguas marítimas.

El fundamento jurídico de este trámite se encuentra establecido en la LGBN (DOF: 20 de mayo 2004), artículos 28, fracción 5 y 72; y el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar en su artículo 26, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de agosto de 1991. El trámite se presenta por cualquier interesado que requiera usar o aprovechar de manera sustentable una superficie de playa, zona federal marítimo terrestre, terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito formado con aguas marítimas. Sí este trámite se elimina, no se garantizaría a las y los interesados de este trámite, la seguridad jurídica necesaria para hacer un uso y aprovechamiento legítimo, racional y sustentable de playas, Zona Federal Marítimo Terrestre, terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito formado por aguas marítimas, evitando el desarrollo integral de las zonas costeras del país. El análisis del trámite para fines de este apartado, se basó en los criterios ambientales y técnicos descritos en el Anexo “Solicitud de registro, actualización, modificación y/o cancelación de la información de los trámites en el Catálogo Nacional de Trámites y Servicios” de la CONAMER.

Criterios ambientales

- La resolución de Impacto Ambiental se requerirá cuando: El proyecto, obras o uso se encuentren contemplados en los supuestos del Artículo 5 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Se planea un desarrollo inmobiliario o realizar obras nuevas.
- La resolución de Impacto Ambiental no se requerirá cuando: El proyecto, obras o uso contemplado cumplan con los supuestos del artículo 6 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Criterios técnicos

- Verificar, en su caso, si las obras marítimas proyectadas modificarán el litoral costero y los ecosistemas marítimos terrestres y si dichas obras se encuentran acordes con la resolución en materia de impacto ambiental.
- Conocer la autorización del proyecto estructural para la construcción de las obras marítimas por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) cuando así se requiera.
- Analizar, revisar y definir en su caso, la aprobación de las obras tendientes a ganar terrenos al mar en forma artificial.
- Verificar, en caso de explotación de materiales, que los volúmenes, técnicas y periodos de extracción contemplados, estén acordes con la resolución en materia de impacto ambiental correspondiente.
- No se podrá otorgar ninguna concesión en la zona federal marítimo terrestre

contigua frente a la desembocadura de calles, ríos, arroyos o rutas de escorrentía que puedan identificarse con diversas herramientas, como imágenes de percepción remota y fotografías aéreas, entre otras que podrán allegarse la Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros.

Crterios jurídicos

- No se autorizarán concesiones en la playa, referida a la parte que se cubre y descubre con el agua, con excepción de las que se otorguen para la realización de actividades de pesca y acuicultura y aquellas que autoricen la instalación de obras de infraestructura marítima que requieran necesariamente la ocupación de estas áreas.
- Para efectos de lo dispuesto en la fracción II del artículo 24 del Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar, los solicitantes para la prórroga de un permiso, tienen preferencia con respecto a otros solicitantes de permiso, pero no con respecto a un solicitante de concesión.
- Para los efectos de lo dispuesto en la fracción III del artículo 24 del Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar; por lugar no debe interpretarse únicamente la Zona Federal Marítimo Terrestre, sino ésta y su entorno, es decir la localidad o poblado en su conjunto incluyendo la Zona Federal Marítimo Terrestre y por inversión importante, no debe interpretarse únicamente la inversión económica más alta, sino aquella que genere el

impacto más favorable para el medio ambiente y su entorno

Constancias y resoluciones

Con respecto a los criterios ambientales, estos son basados en la resolución de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), para ello el interesado o interesada debe presentar una Manifestación de Impacto Ambientales ante la Dirección General de Impacto Ambiental de la SEMARNAT y contar con el resolutivo de la misma, para poder iniciar el trámite SEMARNAT-OI-OOI “Solicitud de Concesión”.

Cabe mencionar que una parte importante de los criterios ambientales que respalda una concesión es la EIA, la cual, dependiendo su naturaleza, puede seguir los lineamientos descritos en las guías, por ejemplo, en la “Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental del sector Turístico Modalidad: particular o Modalidad: regional”.

La EIA tiene como marco legal la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y su Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental (REIA). Así, y conforme una alineación entre los objetivos de la EIA, el objetivo de la DGZFMATAC y las atribuciones de esta Dirección General, se observa que, según la LGEEPA el objetivo medular de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es facilitar la incorporación de la variable ambiental (junto con el desarrollo social y los aspectos técnicos y económicos) al diseño de un proyecto, como un factor fundamental en la toma de decisiones para definir su ubicación, tecnología y diseño de tal manera que se obtengan proyectos integrados al ambiente. Con esta modalidad, se trata de evaluar las opciones de desarrollo en un espacio determinado y de enfatizar las li-

mitaciones y oportunidades que el medio ambiente puede ejercer sobre los proyectos. Es decir, la EIA es un instrumento de carácter preventivo que permite definir los efectos al ambiente y a la sociedad en un espacio geográfico, ocasionados por la construcción, puesta en marcha y operación e incluso por el abandono de un proyecto de obra o de actividad.

Por último, el desarrollo de cualquier obra o actividad deberá considerar acciones para la disminución de emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero, como medidas de mitigación para la adaptación al cambio climático, así como tener en cuenta la resiliencia del ecosistema y la vulnerabilidad de la población, infraestructura y servicios ambientales ante el cambio climático, proponiendo para ello medidas de mitigación y adaptación ante el cambio climático.

Aunado a lo anterior, se conservarán los ecosistemas y su biodiversidad, dando prioridad a los humedales, manglares, arrecifes, *dunas*, zonas y lagunas costeras, fundamental para reducir la vulnerabilidad, y lograr la sustentabilidad, considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático (ver LGEEPA Art. 3, Inciso XIII Bis Definición de Ecosistema Costero).

El objetivo de la DGZFMAT no sólo es la protección, conservación y restauración del ambiente y sus recursos, sino también el fomento de las actividades productivas considerando criterios de aprovechamiento sustentable que mantengan la capacidad de resiliencia de los ecosistemas con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas costeras.

Finalmente, dentro del reglamento interno de la SEMARNAT vigente, artículo 31 fracción II, la Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes

Costeros, debe *participar en los programas para la protección ambiental, manejo integral y el desarrollo sustentable de los bienes nacionales y ambientes costeros* a que se refieren la fracción I de este artículo, así como participar en la formulación de normas oficiales mexicanas para su regulación ambiental.

Planteado lo anterior, se concluye que tanto los objetivos de la EIA, la DGZFMAT debe encaminar sus actos de autoridad hacia el aprovechamiento sustentable de la zona costera, sin embargo, no existen indicadores o variables que permitan medir la sustentabilidad costera dentro de los criterios ambientales y técnicos analizados dentro del trámite SEMARNAT-01-001 “Solicitud de Concesión” y saber si se está cumpliendo con dicho objetivo.

Diversos estudios han analizado las áreas de oportunidad dentro del marco regulatorio de la ZOFEMAT y han concluido que es importante la integración de criterios de sustentabilidad, sin embargo, otro vacío importante que se debe subrayar es la falta de indicadores o variables que nos permitan medir dichos criterios, así como la elaboración de estrategias de implementación, medición y seguimiento de los instrumentos que regulan la ZOFEMAT para poder conocer las aportaciones que las políticas públicas están realizando con respecto a la sustentabilidad de la zona costera (Ramos Campos, 2011).

Sin duda la elaboración, implementación y medición de indicadores para medir la sustentabilidad en la zona costera son importantes y es prioritario para ser integrado en las políticas públicas, sin embargo, no podemos dejar a un lado la tarea de realizar un análisis de los criterios que se toman en cuenta para otorgar una concesión, por lo que al catálogo de tramites de la CONAMER se refiere, muestra criterios técnicos y am-

bientales basados principalmente en la resolución de una EIA y la opinión técnica de las áreas de la DGZFMTAC, donde se suman las opiniones de los municipios costeros, incluyendo los criterios primordiales para dar una opinión es el traslape de concesiones.

Uno de los grandes problemas es la falta de definición del manejo integrado de la zona costera, de aquí se desprende el hecho de la ausencia de criterios ambientales

y técnicos en ordenamientos legales que la regule holísticamente y que defina indicadores que no dependan de la interpretación de la autoridad.

Análisis jurídico ambiental

En la selección y revisión de instrumentos, uno de los resultados es la identificación de su ámbito de aplicación y atribución en los niveles de gobierno en México (SEMARNAT, 2013) (tabla 2).

Recomendaciones para tomadores de decisiones

En forma general se concluye que para atender el manejo y la conservación de dunas costeras en México y el resto del planeta es necesario adoptar un enfoque de Manejo Integrado de la Zona Costera, se debe contar con una estrategia clara de manejo y ordenamiento de los ecosistemas de dunas costeras (González Azuara, 2013) y es imprescindible el diseño de instrumentos *ad hoc* para el manejo y conservación de dunas (González Azuara, 2013; Senado de la República LXII Legislatura, 2013b)

De manera particular, hay recomendaciones para el uso, restauración y conservación de dunas costeras (Martínez, 2009) que son:

- Excepto en casos absolutamente necesarios, las dunas no deben ser estabilizadas ni cubiertas de vegetación de manera artificial (y mucho menos con especies de otros ambientes). Los sistemas móviles deben ser promovidos
- En lo posible, se deben mantener las interacciones entre los seres vivos debido a su gran relevancia en la dinámica natural de estas comunidades. En actividades de restauración se deben recuperar las cadenas tróficas lo más completas que se puedan.

Agradecimientos

Al personal de la Biblioteca Daniel Cosío Villegas de El Colegio de México, en especial a José Valentín Ortiz Reyes, José de Jesús Castro y Claudia Escobar Vallarta, por su gentil trato y trabajo expedito y siempre

eficiente; gracias a ellos se pudo conseguir mucho del material consultado para la sección introductoria. A Dalia Funes y Gladys Pérez quiénes también proporcionaron material de referencia para este escrito.

Tabla 2. identificación de ámbito de aplicación y atribución de instrumentos jurídico ambientales en México (SEMARNAT, 2013).

Ley	Federal	Estatal	Municipal
Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.	Evaluación de impacto ambiental de obras o actividades. Regulación y control de actividades consideradas altamente riesgosas. Regulación de las actividades relacionadas con la exploración, explotación y beneficio de los minerales, sustancias y demás recursos del subsuelo que corresponden a la nación. La formulación, expedición, ejecución y evaluación de los programas de ordenamiento ecológico marino.	Establecimiento, regulación, administración y vigilancia de las áreas naturales protegidas previstas en la legislación local. Regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos. Formulación, expedición y ejecución de los programas de ordenamiento ecológico del territorio regionales. Evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades que no se encuentren expresamente reservadas a la Federación, por la presente Ley y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes, de conformidad con lo dispuesto por el Artículo 35 BIS 2 de la LGEEPA	Prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos. Formulación y expedición de los programas de ordenamiento ecológico local del territorio
Ley General de Vida Silvestre.	Reglamentación de la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat. Identificación de las especies y poblaciones en riesgo y la determinación de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Atención de los asuntos relativos al manejo, control y remediación de problemas asociados a ejemplares y poblaciones que se tornen perjudiciales	No Aplica.	No Aplica.
Ley de Aguas Nacionales.	Emisión de la concesión para la extracción de materiales pétreos localizados dentro de los cauces de las aguas nacionales y en sus bienes públicos inherentes.	No Aplica.	No Aplica.

Tabla 2. identificación de ámbito de aplicación y atribución de instrumentos jurídico ambientales en México (SEMARNAT, 2013)..

Ley	Federal	Estatad	Municipal
Ley de Aguas Nacionales.	Emisión de la concesión para la extracción de materiales pétreos localizados dentro de los cauces de las aguas nacionales y en sus bienes públicos inherentes.	No Aplica	No Aplica
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.	Definición y aplicación de las regulaciones del uso del suelo en terrenos forestales y preferentemente forestales. Expedición, por excepción, de las autorizaciones de cambio de uso del suelo de los terrenos forestales, así como controlar y vigilar el uso del suelo forestal.	No Aplica	No Aplica
Ley de Minas.	Expedir títulos de concesión y de asignación mineras, al igual que resolver sobre su nulidad o cancelación o la suspensión e insubsistencia de los derechos que deriven de las mismas.	No Aplica	No Aplica
Ley General de Asentamiento Humanos.	No Aplica	Formulación, aprobación y administración del programa estatal de desarrollo urbano, así como evaluar y vigilar su cumplimiento	Formulación, aprobación y administración de los planes o programas municipales de desarrollo urbano, de centros de población y los demás que de éstos deriven, así como la evaluación y vigilancia de su cumplimiento. Regulación, control y vigilancia de las reservas, usos y destinos de áreas y predios en los centros de población. Expedición de las autorizaciones, licencias o permisos de uso de suelo, construcción, fraccionamientos, subdivisiones, fusiones, relotificaciones y condominios, de conformidad con las disposiciones jurídicas locales, planes o programas de desarrollo urbano y reservas, usos y destinos de áreas y predios.
Ley de Ambientes Estatales.	No Aplica	Emisión de autorizaciones para la exploración, explotación y beneficio de minerales o sustancias no reservadas a la federación.	No Aplica

Literatura citada

- Alcamo, J., E.M. Bennett, y Millennium Ecosystem Assessment (Program), (2003. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment. Washington, DC: Island Press.
- Carrillo-Rodríguez, O., 2016. Caracterización del campo de dunas “La Lagunilla”, en la playa municipal de Ensenada, BC. Tesis para obtener el título de oceanólogo. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Catalogo CONAMER: <http://187.191.71.208/BuscadorTramites/fichasnew/SEMARNAT-01-001.pdf>
- Cervantes, O., 2018. Las playas mexicanas; retos y desafíos. Centro Tepoztlán Victor L. Urquidi, A.C. El Colegio de México. CDMX. DF.16 P. www.centrotepoztlan.org.
- Chávez, E J.R., 2010. Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidro-meteorológica de la franja Tijuana - Ensenada.. Tesis de maestría en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte - CICESE, Tijuana, México.
- CONABIO, 2004. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS). <http://conabiweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, publicación en el DOF 5 de febrero de 1917.Última reforma DOF 29 de enero de 2016. Guía MIA turística: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/121010/Guia_MIA-Particular_Turistico.pdf
- COS, 2018. Center for Ocean Solutions, Stanford Wood Institute For The Environment, Coastal California Adaptation Policy Briefs. California, USA. 41P. (<https://oceansolutions.stanford.edu/>).
- De Cabo, F., 2010. El ecosistema de dunas costeras. Seminario de Gestión y reducción del riesgo de desastres 2010. Universidad de El Salvador, Facultad de Historia, Geografía y Turismo.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Publicada el 14 de diciembre de 2017. México. Publicada el 30 de diciembre de 2010. México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016. NMX-AA-SCFI-2016. Norma Mexicana que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. Publicada el 14 de diciembre de 2017. México. Publicada el 07 de diciembre de 2016. México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2017. NOM-146-SEMARNAT-2017. Norma Mexicana que establece la metodología para la identificación, delimitación y representación cartográfica que permitan la ubicación geográfica de la Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. Publicada el 07 de diciembre de 2016
- Doody, J.P., 1992. Nature conservation on the coast: the role of coastal zone management, p. 495-501. En: Carter, R.W.G.; Curtis, T.G.F.; Sheehy-Skeffington, M.J. (Eds.) Coastal dunes: geomorphology, ecology and management for conservation: Proceedings of the 3rd. European Dune Congress Galway, Ireland, 17-21 June 1992. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Duncan, K., 2001. The UK Habitat Action Plan for sand dunes, p. 306-315. En: Houston, J. A.; Edmondson, S. E.; Rooney, P. J. (Eds.) Coastal Dune Management. Shared Experience of European Conservation Practice. Proceedings of the European Symposium Coastal Dunes of the Atlantic Biogeographical Region Southport, northwest England, September 1998. Liverpool University Press, Liverpool.
- Espejel, I., O. Jiménez-Orocio, G. Castillo-Campos, P.P. Garcillán, L. Álvarez, S. Castillo-Argüero, R. Durán, M. Ferrer, D. Infante-Mata, S. Iriarte, J.L. León de la Luz, H. López-Rosas, A. Medel Narváez, R. Monroy, P. Moreno-Casasola, J.P. Rebman, N. Rodríguez-Revelo, J. Sánchez-Escalante, y S. Vanderplank, 2017. Flora en playas y dunas costeras de México. *Acta Botánica Mexicana*, (121): 39-81. DOI: <https://dx.doi.org/10.21829/abm121.2017.1290>
- Feilberg, A., y F. Jensen, 1992. Management and conservation of sand dunes in Denmark, p. 429-437. En: Carter, R.W.G.; Curtis, T.G.F.; Sheehy-Skeffington, M.J. (Eds.) Coastal dunes: geomorphology, ecology and management for conservation: Proceedings of the 3rd European Dune Congress Galway, Ireland, 17-21 June 1992. A. A. Balkema, Rotterdam.

- Gallego-Fernández, J. B., y M. L. Martínez, 2011. Environmental filtering and plant functional types on mexican foredunes along the Gulf of Mexico. *Ecoscience*, 18(1): 52-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.2980/18-1-3376>
- García de Fuentes, A., A. Munguía Gil, J. Euán Ávila, y M.A. Liceaga, 2013. Criterios para la delimitación de unidades de gestión ambiental en el ordenamiento ecológico del territorio costero del Estado de Yucatán, p. 425-447. En: Sánchez Salazar, M. T.; Bocco Verdinelli, G.; Casado Izquiero, J. M. La política de ordenamiento territorial en México: de la teoría a la práctica. Instituto de Geografía (UNAM)-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (UNAM)- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Ciudad de México.
- García, C., y T. Gómez, 2011: El guardián de La Mancha, reserva ecológica en Veracruz. El Universal. Sección Ciencia. Publicado el 16/06/2011. Disponible en: <https://archivo.eluniversal.com.mx/articulos/64601.html> Acceso el 31/07/2019.
- González Azuara, J. A., 2013. El papel de las Áreas Naturales Protegidas en la conservación de las dunas y los humedales en México, p. 133-137. En Senado de la República LXII Legislatura. Hacia el diseño de una Ley General para la Gestión Integral y Sustentable de las Costas Mexicanas. Dunas costeras y humedales: Futuro y conservación, Talleres 2010-2011 (I, II y III) Memorias. Senado de la República LXII Legislatura Comisión de Biblioteca y Asuntos Editoriales-Los Cabos Coastkeeper A. C.-Instituto Nacional de Ecología-Instituto de Investigaciones Jurídicas (UNAM), Ciudad de México.
- Helweg Ovesen, C., 2001. Management of Danish dunes today: theory and practice, p. 302-305. En: Houston, J. A. Edmondson, S. E. Rooney, P. J. (Eds.) Coastal Dune Management. Shared Experience of European Conservation Practice. Proceedings of the European Symposium Coastal Dunes of the Atlantic bio geographical Region Southport, northwest England, September 1998. Liverpool University Press, Liverpool.
- Herrier, J. L., y I. Killemaes, 2001. Synopsis of the Flemish coastal dune conservation policy, p. 316-325. En: -Houston, J. A., Edmondson, S. E.; Rooney, P. J. (Eds.) Coastal Dune Management. Shared Experience of European Conservation Practice. Proceedings of the European Symposium Coastal Dunes of the Atlantic Biogeographical Region Southport, northwest England, September 1998. Liverpool University Press, Liverpool.
- Heslenfeld, P., P.D. Jungerius, y J.A. Klijn, 2004. European Coastal Dunes: Ecological Values, Threats, Opportunities and Policy Development, p. 335-351. En: Martínez, M. L., Psuty, Norbert P. (Eds.) Coastal Dunes. Ecology and Conservation.
- Hesp, P., e I. Walker, 2013. Coastal dunes Treatise on geomorphology (pp. 328-355): Elsevier Inc.
- Jiménez-Orocio, O., I. Espejel. y M.L. Martínez, 2015. La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86 : 486-507. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.022>
- Martínez, M.L., 2008. Dunas costeras. *Investigación y Ciencia*, 38: 26-35.
- Martínez, M. L., 2009. Las playas y las dunas costeras: un hogar en movimiento. La ciencia para todos, núm. 226. Fondo de Cultura Económica-Secretaría de Educación Pública-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciudad de México. 189 p.
- Martínez, M. L., O. Pérez-Maqueo, y V. M. Vásquez, 2004. Facilitative interactions on coastal dunes in response to seasonal weather fluctuations and benefactor size, *Ecoscience*, 11(4): 390-398, DOI: 10.1080/11956860.2004.11682847
- Martínez, M. L., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, O. Jiménez-Orocio, D. Infante Mata, N. Rodríguez Revelo, y J.C. Cruz González, 2014. Diagnóstico de las dunas costeras de México. CONAFOR, Guadalajara. 350 p.
- McKenna, J., M. MacLeod, A. Cooper, A.M. O'Hagan, y J. Power, 2005. Land tenure type as an underrated legal constraint on the conservation management of coastal dunes: examples from Ireland. *Area*. Vol. 37(3): 312-323.
- Meur, C., B. Hallégouët, y J.-C. Bodéré, 1992. Coastal dune management policies in France: the example of Brittany, p. 419-427. En: Carter, R.W.G.; Curtis, T.G.F.; Sheehy-Skeffington, M.J. (Eds.) Coastal dunes: geomorphology, ecology and management for conservation: Proceedings of the 3rd European Dune Congress Galway, Ireland, 17-21 June 1992. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Miththapala, S., 2008. Seagrasses and Sand Dunes. Coastal Ecosystems Series (Vol 3) pp 1-36 + iii.

- Colombo, Sri Lanka: Ecosystems and Livelihoods Group, Asia (UICN).
- Moreno-Casasola, P., I. Espejel, S. Castillo, G. CastilloCampos, R. Duran, J. J. Pérez-Navarro, J. L. León, I. Olmsted, y J. Trejo-Torres, 1998. Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. p. 177-258. In: Halffter, G. (ed.). La diversidad biológica de Iberoamérica. Vol. 2. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México.
- Moreno-Casasola, P., S. Castillo, y Martínez, M.L. 2011. Flora de las playas y los ambientes arenosos (dunas) de las costas. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México: 229-238.
- Oropeza-Orozco, O., I. Sommer-Cervantes, J. Carlos-Gómez, J.C. Preciado-López, M.A. Ortiz-Pérez, y J. López-Portillo, 2011. Assessment of vulnerability and integrated management of coastal dunes in Veracruz, Mexico. *Coastal Management*, 39: 492-514.
- Otero M.M., 2016. European Red List of Habitats. Marine habitats A2.25: Communities of Mediterranean mediolittoral sands.
- Peña-Alonso, C., L. García-Romero, A.I. Hernández-Cordero, y L. Hernández Calvento, 2015b. Estimación de la susceptibilidad en dunas costeras de regiones áridas y su relación con la cobertura vegetal. Aplicación a la duna costera de Maspalomas (Islas Canarias, España). *Geotemas*, 15: 213-216.
- Piñar-Álvarez, M. A., A. Wojtarowski-Leal, y M.L. Martínez-Vázquez, 2017. Dunas costeras en Veracruz, México. Conservación y uso para la cohesión social desde la percepción local. *Región & Cohesión*. 7(1): 40-68. DOI: 10.3167/reco.2017.070105
- Presidencia de la República, 2019. Ley Federal de Derechos. Publicada en el DOF 31/12/1981. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/107_281218.pdf Acceso 30/07/2019.
- Presidencia de la República, 1991. Reglamento para el uso y aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. Publicado en el DOF 21/08/1991. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131812/39._Reglamento_Para_El_Uso_Y_Aprovechamiento_Del_Mar_Territorial_V_As_Navegables_Playas_Zona_Federal_Mar_Timo_Terrestre_Y_Terrenos_Ganados_Al_Mar.pdf. Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2004. Ley General de Bienes Nacionales (LGBN). Publicada en el DOF 20/05/2004. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/267_190118.pdf. Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2014. Ley Minera. Publicada en el DOF 11/08/2014. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/151_110814.pdf. Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2014. Reglamento de la Ley general de equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de ordenamiento ecológico. Publicado en el DOF 31/10/2014. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEE-PA_MOE_311014.pdf. Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2014. Reglamento de la Ley general de equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de evaluación de impacto ambiental. Publicado en el DOF 31/10/2014. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEE-PA_MEIA_311014.pdf. Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2016. Ley de Aguas Nacionales. Publicada en el DOF 24/03/2016. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2016. Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicada en el DOF 05/06/2018. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2018 a. Ley General de Bienes Nacionales. Publicación en DOF 20/05/2004. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/267_190118.pdf. Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República, 2018. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Publicada en el DOF 05/06/2018. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LG-DFS_050618.pdf Acceso 31/07/2019
- Presidencia de la República. 2018 c. Ley General de Vida Silvestre. Publicada en el DOF 19/01/2018. Disponible en: <http://www.dipu->

- tados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_190118.pdf. Acceso 31/07/2019.
- Presidencia de la República, 2019. Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. Publicada en el DOF 14/05/2019. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_140519.pdf. Acceso 31/07/2019
- Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero de Yucatán (POETCY), 2007. Informe final, Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida-Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán-Instituto Tecnológico de Conkal-Instituto Tecnológico de Mérida-Universidad Autónoma de Yucatán.
- Ramos Campos, Q., 2011. La ZOFEMAT: Una ficción legal. *Derecho Ambiental y Ecología*. Pp. 37-39.
- Ranwell, D.S., y R. Boar, 1995. Coastal dune management guide. Reminder Press, UK.
- Rooney, P. J., 2001. The Sefton Coast Life Project: a conservation strategy for the sand dunes of the Sefton Coast, northwest England, p. 243-254. En: Houston, J. A.; Edmondson, S. E.; Rooney, P. J. (Eds.) Coastal Dune Management. Shared Experience of European Conservation Practice. Proceedings of the European Symposium Coastal Dunes of the Atlantic Biogeographical Region Southport, northwest England, September 1998. Liverpool University Press, Liverpool.
- San Martín, J., C. Ramírez, y C. San Martín, 1992. La flora de las dunas chilenas y sus adaptaciones morfológicas. *Bosque*, 13(1): 29-39.
- Secretaría de Economía (SE), 2016. Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 que establece los requerimientos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas (cancela a la NMX-AA-120-SCFI-2006). Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-120-scfi-2016.pdf>. Acceso 31/07/2019
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2013. Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras, Criterios Ecológicos y Estrategias. Dirección de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. SEMARNAT, Ciudad de México. 99 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2019 a. Lineamientos técnicos y de gestión para la atención de la contingencia ocasionada por sargazo en el Caribe Mexicano y el Golfo de México. SEMARNAT-Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Ciudad de México. 35 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2019 b. Manual de implementación de la NMX-AA-120-SCFI-2016. SEMARNAT - Operadora y Administración de Playas de Mazatlán OAP, Universidad de Colima, Instituto Mexicano de Normalización y Certificación IMNC, A. C., Ciudad de México. 45 p.
- Seingier, G., I. Espejel, y J.L. Fermán-Almada, 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación ambiental. Ciencia y Política Pública*, 1: 54-69.
- Senado de la República LXII Legislatura, 2013a. Hacia el diseño de una Ley General para la Gestión Integral y Sustentable de las Costas Mexicanas. Dunas costeras y humedales: Futuro y conservación, Talleres 2010-2011 (I, II y III) Memorias. Senado de la República LXII Legislatura Comisión de Biblioteca y Asuntos Editoriales-Los Cabos Coastkeeper A. C.-Instituto Nacional de Ecología-Instituto de Investigaciones Jurídicas (UNAM), Ciudad de México. 246 p.
- Senado de la República LXII Legislatura, 2013b. Conclusión (Capítulo I. Primer Taller), pp. 96-99. En Senado de la República LXII Legislatura. Hacia el diseño de una Ley General para la Gestión Integral y Sustentable de las Costas Mexicanas. Dunas costeras y humedales: Futuro y conservación, Talleres 2010-2011 (I, II y III) Memorias. Senado de la República LXII Legislatura Comisión de Biblioteca y Asuntos Editoriales-Los Cabos Coastkeeper A. C.-Instituto Nacional de Ecología-Instituto de Investigaciones Jurídicas (UNAM), Ciudad de México.]
- Senado de la República LXII Legislatura, 2013b. Conclusión (Capítulo I. Primer Taller), pp. 96-99. En Senado de la República LXII Legislatura. Hacia el diseño de una Ley General para la Gestión Integral y Sustentable de las Costas Mexicanas. Dunas costeras y humedales: Futuro y conservación, Talleres 2010-2011 (I, II y III) Memorias. Senado de la República LXII Legislatura Comisión de Biblioteca y Asuntos Editoriales-Los Cabos Coastkeeper A. C.-Instituto Nacional de Ecología-Instituto de Investigaciones Jurídicas (UNAM), Ciudad de México.

- Silva, R., N. Martínez, I. Odériz, E. Mendoza, y R. Feagin, 2016. Response of vegetated dune-beach systems to storm conditions. *Coastal Engineering*, 109, 53-62.
- Simpson, D. E., y M. Gee, 2001a. Towards best practices in the sustainable management of sand dunes habitats: 1. The restoration of open dune communities at Ainsdale Sand Dunes National Nature Reserve, pp. 255-261. En: Houston, J. A.; Edmondson, S. E.; Rooney, P. J. (Eds.) Coastal Dune Management. Shared Experience of European Conservation Practice. Proceedings of the European Symposium Coastal Dunes of the Atlantic Biogeographical Region Southport, northwest England, September 1998. Liverpool University Press, Liverpool.
- Simpson, D. E., J.A. Houston, y P.J. Rooney, 2001b. Towards best practices in the sustainable management of sand dunes habitats: 2. Management of the Ainsdale dunes on the Sefton Coast, pp. 262-270. En: Houston, J. A.; Edmondson, S. E.; Rooney, P. J. (Eds.) Coastal Dune Management. Shared Experience of European Conservation Practice. Proceedings of the European Symposium Coastal Dunes of the Atlantic Biogeographical Region Southport, northwest England, September 1998. Liverpool University Press, Liverpool.
- Simpson, D. E., P.J. Rooney, y J.A. Houston, 2001c. Towards best practices in the sustainable management of sand dunes habitats: 3. Management for golf and nature on the Sefton Coast, pp. 271-280. En: Houston, J. A.; Edmondson, S. E.; Rooney, P. J. (Eds.) Coastal Dune Management. Shared Experience of European Conservation Practice. Proceedings of the European Symposium Coastal Dunes of the Atlantic Biogeographical Region Southport, northwest England, September 1998. Liverpool University Press, Liverpool.
- Udo de Haes, H.A., y A.R. Wolters, 1992. The golden fringe of Europe: ideas for European coastal conservation strategy and action plan, pp. 525-532. En: Carter, R.W.G.; Curtis, T.G.F.; Sheehy-Skeffington, M.J. (Eds.) Coastal dunes: geomorphology, ecology and management for conservation: Proceedings of the 3rd. European Dune Congress Galway, Ireland, 17-21 June 1992. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Unión Europea, 2019. Natura 2000. https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm
- Wiebe, K. D., y R. Meinzen-Dick, 1998. Property rights as policy tools for sustainable development. *Land Use Policy*. Vol. 15, Núm. 3, pp. 203-2015.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Experiencias sobre la gestión sustentable de las costas y playas de isla Cozumel, México

O. Frausto Martínez

Resumen

La existencia de numerosos instrumentos para la determinación del estado de la gestión sustentable de playas ha generado una discusión abierta entre los procesos de su validación y confrontación para la toma de decisiones de alto nivel. El uso de indicadores se promueve como una herramienta de gestión, siendo una señal o un signo para la toma de decisiones informadas. El monitoreo es una de las fases críticas en el desarrollo de los sistemas de información georreferenciada de indicadores integrales con propósitos específicos; se trata de la operación de conceptos, objetivos y estrategias con el fin de lograr metas, en este caso, la gestión sustentable de las costas y playas. Así, el monitoreo considera la valoración del sistema de indicadores a través de cinco criterios: pertinencia, calidad de la información, objetivos del sistema, tendencia y significancia. En este caso, se presenta la experiencia de la gestión basada en ecosistemas de la costa y playa de la isla de Cozumel.

Palabras clave: base de datos, decisiones, indicadores, gestión basada en ecosistemas.

Introducción

Los destinos turísticos del litoral costero reportan los mayores flujos turísticos internacionales, en específico, aquellos de países subtropicales y tropicales ubicados en el mar Mediterráneo, el mar Caribe y el mar de Indochina en el sudeste asiático. El turismo de destinos litorales de sol y playa se destaca por el amplio consumo de territorio costero, ya que requiere un intenso y elevado uso del suelo vinculado a las actividades recreativas, transformando los territorios no solamente del paisaje natural, sino también en la estructura económica, social y cultural (Benseny, 2006).

Desde el punto de vista sectorial, el destino es visto dentro de una relación preferente de oferta y de demanda, cuyo resultado final suele ser la equiparación del destino al producto consumido o que el destino es el producto turístico, fenómeno que se produce por la necesidad de ir a un sitio para consumir, también se interpreta el destino como un agregado de productos incluidos dentro de un determinado ámbito territorial. Este concepto presenta parcialidad, sin embargo, aun cuando quede mucho por avanzar en la complejidad del destino, introduciendo numerosos aspectos explicativos tanto desde el punto de vista sectorial como desde el geográfico, se trata esencialmente de un sistema (Barrado, 2002).

En ese sentido, la planificación o gestión de los destinos turísticos debe partir, de acuerdo con McHarg (citado en: Clave y González, 2005), de la consideración de los elementos naturales del espacio turístico, debido a que los cambios o procesos de la dimensión natural o ambiental del sistema, afectan necesariamente al sistema entero, además de que permite la zonificación y establecimiento de los usos de suelo

adecuados. A pesar de ello, la gestión de los destinos litorales se aplica de manera parcial, sectorial, encaminado al análisis de la oferta-demanda y al destino como producto turístico, a partir de modelos de gestión que abordan exclusivamente el sistema económico y orientado a la competitividad (Menoya, 2014).

Así, las playas en los litorales son motor de la economía de numerosos países y regiones, a partir del modelo turístico de sol y playa adoptado a nivel mundial (Lozoya *et al.*, 2014), representan uno de sus recursos de mayor valor, el activo principal de este tipo de turismo; sin embargo, pese al valor económico que generan las playas en la gestión de los destinos turísticos, persiste un continuo proceso de degradación de los recursos sistemas-playa (CIIRC, 2010).

Las aproximaciones de gestión de playas, aún en la actualidad, se efectúan priorizando el uso recreativo de las playas, dejando de lado la variabilidad de usos potenciales y la dinámica que existe en ellas entre los sistemas ambiental y socioeconómico (Sardá y Fluvía, 1999; Yepes, 2005; Valdemoro y Jiménez, 2006; Ariza *et al.*, 2008).

De esta forma, la gestión es desintegrada y no contempla todos los componentes importantes de sistemas tan complejos como las playas y costas (Ariza *et al.*, 2008). El desconocimiento de los límites exactos de playa, la geomorfología costera, la clasificación adecuada de las playas y sus procesos, no ha permitido generar las bases sólidas para encaminar las estrategias de gestión de la actividad turística que se realiza en dichas unidades, hacia una gestión sustentable. La realidad actual es que existe una importante brecha entre lo que se establece en los nuevos enfoques de gestión sustentable de

playas y los elementos de análisis integrales que utilizan y la realidad de gestión en la práctica, en este caso la turística (Sardá *et al.*, 2012). La necesidad de desarrollar herramientas que permitan trasladar estos conceptos de integración y multifuncionalidad a la práctica se convierte en necesidad, siendo los indicadores y su monitoreo una de las herramientas centrales para su gestión.

Así, la existencia de numerosos instrumentos para la determinación de la gestión sustentable de la costa y el litoral ha generado una discusión abierta entre los procesos de su validación y confrontación para la

toma de decisiones de alto nivel. El uso de indicadores se promueve como una herramienta de gestión, siendo una señal o un signo para la toma de decisiones informadas. El monitoreo es una de las fases críticas en el desarrollo de los sistemas de información de indicadores integrales con propósitos específicos, se trata de la operación de conceptos, objetivos y estrategias con el fin de lograr metas, en este caso, la sustentabilidad. Así, el monitoreo considera la valoración del sistema de indicadores a través de cinco criterios: pertinencia, calidad de la información, objetivos del sistema, tendencia y significancia.

La gestión de la playa

En la actualidad, si se pretende una gestión sustentable, las actividades humanas y los ecosistemas en los que éstas se desarrollan deben ser considerados como un todo (Berkes y Folke, 1998). Esta aproximación holística ha sido uno de los principales aportes de la Gestión Basada en los Ecosistemas (EBM por sus siglas en inglés), explicitando el intrínseco e indisoluble vínculo que existe entre naturaleza y sociedad (Curtin y Prellezo, 2010). Este vínculo es evidente en las zonas costeras, donde la belleza de sus ecosistemas, los diversos servicios que ofrecen y un notable incremento en la accesibilidad han hecho que las costas sean un imán para las poblaciones humanas en todo el mundo (Martínez *et al.*, 2007).

Por lo tanto, la gestión sustentable de las playas, permite disminuir la degradación de los sistemas de playa, además de conservar y mejorar las condiciones de los destinos turísticos, logrando el fortalecimiento de las estrategias de gestión y planificación

del territorio, además de disminuir los impactos de la actividad turística en el litoral (Prabpriree *et al.*, 2016).

Debido a ello, es necesario abordar la gestión de las playas desde una visión integradora, donde la inclusión y priorización del conocimiento de la dinámica de los sistemas ambiental y socioeconómico de las playas es indispensable para reconocer su complejidad y heterogeneidad, así como la importancia de comenzar su gestión a partir del entendimiento de las mismas como unidades básicas de gestión. Lo anterior se ajusta a criterios que los nuevos modelos de gestión de playas (Gestión basada en Ecosistemas, EBM) sugieren para establecer estrategias que permitan alcanzar la sustentabilidad, aunque para ello, es necesario desarrollar herramientas integradoras y análisis de escala local en los destinos turísticos de sol y playa (Lozoya *et al.*, 2011).

Los efectos espaciales de la ocupación turística de los destinos varían en cada caso y

no pueden generalizarse, ya que son múltiples los factores que inciden en la conversión de ese lugar determinado en un destino concreto: ubicación, clima, relieve, vegetación, geología y suelos van dictando qué tipo de obras se requieren, alcance de las mismas, mantenimiento a futuro, entre otros (Coll, 2016). La inserción del análisis de la estructura para el conocimiento de los sistemas playa, le dan soporte a la dimensión ambiental, puesto que es donde se da la interrelación sistémica y será el primer paso de comprensión del mismo. Siendo así, es necesario identificar y clasificar las unidades de playa existentes, para comprender los procesos, dinámica, interrelaciones sistémicas, impactos y presiones, estatus y los usos con los que cuenta. De esta forma, se generan los pilares del conocimiento necesarios para establecer herramientas de gestión sustentable (Ortíz, 2016). En ese sentido, Lozoya *et al.* (2011), resalta que es necesario encaminarse a una gestión diferenciada de las playas, pues las unidades de playa no presentan una homogeneidad.

En cuanto a la gestión de los destinos litorales, tanto las perspectivas de la geografía del turismo, como las del ordenamiento del territorio, planificación del espacio turístico (aproximación geográfico-territorial), el

manejo integrado costero y el EBM, coinciden en que el soporte fundamental para la gestión integrada es el conocimiento adecuado de la dinámica del sistema ambiental (análisis físico) y la aptitud del espacio natural, para la posterior gestión de los sistemas económico y social (Barrado, 2004; Clave y González, 2005; Sardá *et al.*, 2013; Lozoya *et al.*, 2014; Coll, 2016), debido a la cantidad de particularidades geográficas que presenta la actividad turística (Barrado, 2004; Coll, 2016).

En particular, las playas son sistemas socioecológicos donde las dimensiones físicas, ecológicas, sociales y económicas interaccionan generando servicios ambientales para la satisfacción de las necesidades humanas y su bienestar (Beaumont *et al.*, 2007; Brenner *et al.*, 2010; Lozoya *et al.*, 2011). En este contexto, la comprensión y gestión de dichos sistemas requieren la integración de tres grandes disciplinas que generalmente tienen visiones particulares: la economía, la sociología y la ecología (Tett *et al.*, 2011). Con el objetivo de alcanzar un desarrollo sustentable, los procesos de gestión de estos sistemas socio-ecológicos deberían considerar e integrar todas estas dimensiones (James, 2000; Ariza *et al.*, 2008; Tett *et al.*, 2011).

Síntesis de referencia en la gestión de indicadores

El estudio de los indicadores de la gestión de playas y costas ha sido abordado desde diversos discursos. El primero es el histórico, cuyos indicadores de gestión se centran en el marco de los documentos estratégicos de desarrollo y programas de modernización vinculados al orden mundial posterior

a la guerra de 1945 (figura 1). Para el caso de las costas, el decreto de Ley 92- 583 del manejo de la zona costera, de 1972 es el parteaguas en política costera, seguido del plan de acción del PNUMA de 1975, ambos como preámbulo a las grandes conferencias de los años 90, donde se institucionaliza la

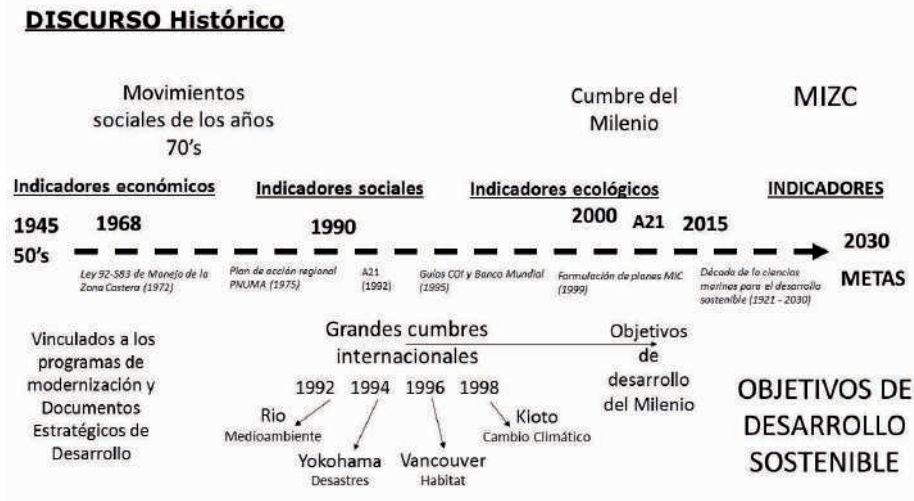


Figura 1. Discurso histórico en la implementación de indicadores para la gestión de la gestión de la costa y el litoral (elaboración propia).

Agenda 21 como instrumento estratégico para la elaboración de planes de acción de gran visión (en ese entonces al 2000-2015), que dará pauta a los lineamientos del COI (Comisión Oceanográfica intergubernamental – UNESCO) y Banco mundial de 1995 (Olsen *et al.*, 2009). Ya para el año 2000, con la Cumbre del Milenio, aparecieron los primeros planes de Manejo Integrado Costero, donde se vislumbraban los elementos centrales de sustentabilidad y la triada de aspectos a considerar – ecológicos, sociales y económicos, con objetivos e indicadores que permitieron lograr metas al 2015. Así, la revisión de estas metas genera el establecimiento de nuevos compromisos a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030, donde la guía es un manejo integrado de la zona costera y la proclamación de la década de las ciencias marinas y los océanos para el desarrollo sostenible (2021-2030) (Barragan, 2014).

Así, en materia de lineamientos y acuerdos internacionales, se tiene una experiencia de más de 40 años, donde los instru-

mentos para la gestión y manejo de la costa se han implementado, y los indicadores han jugado un papel sustancial en la evaluación bajo la directriz de la UNESCO o del PNUMA y donde se México ha signado compromisos de desarrollo e implementación de políticas costeras (figura 2). Así, los indicadores de progreso señalan el cumplimiento de metas programadas, orientadas a superar limitantes históricas y generar sistemas completos y multinivel que ayudan a planificación del litoral y de las costas, se crean políticas (CIMARES, PRODELI, Agenda del Mar, entre otros), con el fin de implementar un manejo integral de la zona costera y lograr el objetivo 14 de los ODS (Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible) (González *et al.*, 2012; Cordera y Provencio, 2018).

Así, los acuerdos internacionales sobre el manejo costero sirven de base para la definición teórica conceptual a lograr y que, después, sea operado por medio de objetivos y metas que serán valoradas en

función de indicadores expreso para su uso y aplicación. Por lo que, la construcción de indicadores se irá estructurando de acuerdo a variables teóricas, donde hay una definición del propósito del manejo costero (uso), medición de factores y objetivos, para pasar a una variable operativa donde el factor y la meta son definidos, y

cuyo resultado será el indicador o sistema de indicadores a implementar a nivel local, entre éstos, los de playa. En la figura 3, se reconocen los elementos técnicos de los indicadores, señalando su finalidad, las características operativas y el monitorio de procesos para validarlos.



Figura 2. Discurso sobre la implementación de la agenda internacional para el manejo integrado de la costa en México. (Elaboración propia).

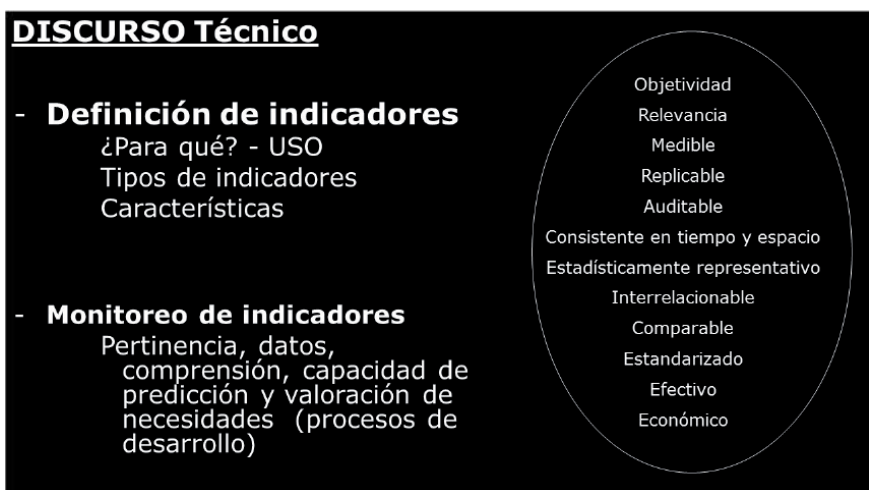


Figura 3. Discurso técnico para la elaboración de los indicadores. (Elaboración propia).

Los indicadores de la política costera

Con la creación de la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas en 2008 y ratificada en 2015 (DOF, 2018), se crea en el año 2018 el acuerdo mediante el cual se expide la Política Nacional de Mares y Costas de México. En el acuerdo se señala la urgencia de realzar la integración de la política de manejo de las costas y mares Impulsar una política en mares y costas que promueva oportunidades económicas, fomente la competitividad, la coordinación y enfrente los efectos del cambio climático protegiendo los bienes y servicios ambientales, lo cual era una de las estrategias señaladas en el Plan Nacional de

Desarrollo 2012-2018. Se han identificado 19 indicadores para las 17 estrategias y los tres objetivos centrales de la política. Cabe destacar que el 47 % de los indicadores corresponde a listas de verificación, 37 % a indicadores simples cuantitativos y sólo el 16 % son índices cuantitativos compuestos (figura 4).

Cabe destacar que el esfuerzo para la definición de indicadores con un enfoque marino y costero no es nuevo en México. Azuz –Adeath *et al.* (2010), identifican 19 indicadores, centrados en conocer el estado de los mares y costas en contextos de cambio climático, donde cinco indicadores

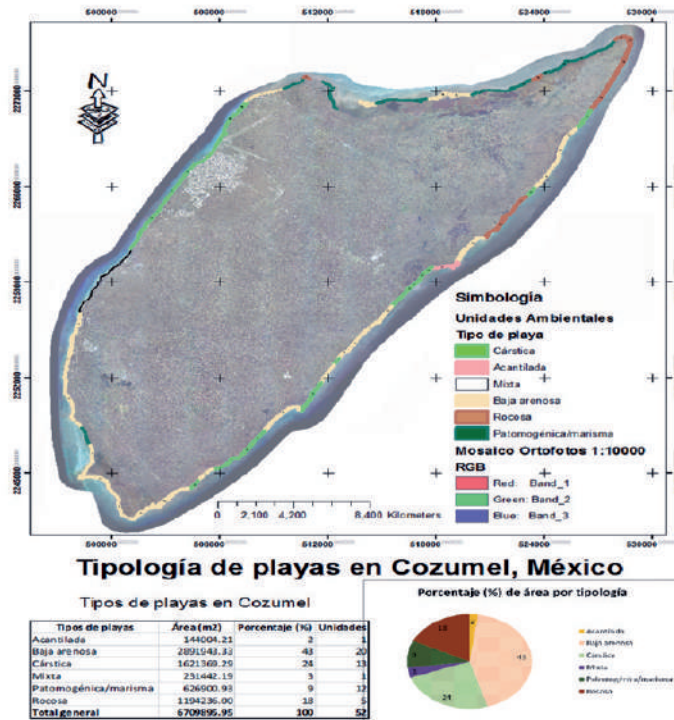


Figura 4. Mapa de tipos de playa de la isla de Cozumel (Elaboración propia).

pueden reconocerse en la política nacional de mares y costas, a saber:

- Existencia de atlas de riesgo.
- Índice de marginación.
- Existencia de ordenamiento ecológico local.
- Población en riesgo y vulnerable.
- Esfuerzos de vinculación.

Esos mismos autores señalan cinco temas prioritarios para generar indicadores: Elementos ambientales para la toma de decisiones, economía y uso de los espacios marinos; habitantes y patrimonio; formación de recursos humanos; gobernanza (tabla 1).

Herramientas de la gestión de playas y costas en Cozumel

La implementación de la Agenda del Mar en el año 2003 y la creación de la Administración Costera Integral sustentable A. C. en el año 2005 (ACIS, 2005), establece los mecanismos de coordinación de la visión de un manejo integral de la zona costera de la isla de Cozumel. En ella se señala el marco territorial de análisis basado en el Programa de ordenamiento ecológico de Cozumel y su área de marítima de influencia (DOF, 2002) y su actualización en el año 2005 (SECTUR, 2013). Los asuntos de la ACIS se perfila en la creación de bases de datos de usuarios de la zona costera, el levantamiento topográfico, la restitución espacial de la línea de costa y la batimetría de la zona costera norte de la isla de Cozumel, con el fin de crear un sistema de información geográfica de la zona costera de la isla de Cozumel. El interés por el ente gestor se vuelca en el grupo coordinador de la Agenda del Mar (Gobierno Municipal, Dirección municipal de desarrollo urbano, Universidad de Quintana Roo, Fundación Comunitaria Cozumel, Agencia de desarrollo Hábitat) y el grupo coordinador de la propuesta de ACIS (ZOFEMATAC, SEMARNAT, Secretaría de Marina, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Administración Portuaria

Integral de Quintana Roo, Gobierno del Estado de Quintana Roo y Gobierno Municipal de Cozumel).

Los elementos de actualización del Plan de Ordenamiento Ecológico Local señalan los ecosistemas prioritarios, áreas naturales protegidas y zonas de protección natural. Lo que destaca es la ausencia de un padrón de usuarios de la zona costera actualizado, con relevamientos topográficos, donde la práctica existente del uso de la costa es inmediato y sin un plan de desarrollo. Los objetivos del grupo se centran en seis ejes: a) crear de bases de datos de usuarios de la zona costera, b) relevamiento topográfico de predios y concesiones, c) restituir la línea de costa, d) generar la batimetría de la zona costera norte de la isla de Cozumel, e) crear un sistema de información geográfica de la zona costera de la isla de Cozumel y f) definir proyectos estratégicos de largo plazo.

El desarrollo de un entendimiento común sobre el ecosistema insular y la relación tierra-mar es tratado en las iniciativas que fundamentan la creación de áreas de protección, no sólo del mar (Parque Marino Arrecifes de Cozumel), sino de la parte lagunar (Zona de Protección Laguna Co-

Tabla 1. Lista de indicadores de la Política Nacional de Mares y Costas.
Elaboración propia con base en DOF (2018).

Objetivo	Estrategias	Indicadores	Tipo de indicador
1. Contribuir a mejorar las condiciones de vida de los habitantes de las poblaciones costeras por medio del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, de la planeación integral costera y marina y de la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático, procurando paralelamente la distribución más equitativa de la riqueza generada	1.1. Impulsar y fomentar la diversificación productiva mediante la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales para mejorar la calidad de vida de los habitantes en municipios costeros.	1. Índice Mejora de la calidad de vida de los habitantes en municipios costeros	Índice - Cuantitativo
	1.2. Fomentar y apoyar que la mayoría de los municipios costeros con grados de marginación "alto" y "muy alto", operen plantas para el tratamiento de aguas residuales y de sitios de disposición final de residuos	2. # plantas para el tratamiento de aguas residuales /#total de municipios costeros	Índice - Cuantitativo
		3. # sitios de disposición final de residuos/ # Total de municipios costeros	Índice - Cuantitativo
	1.3 Apoyar la implementación de Programas de Desarrollo Urbano en municipios costeros, con criterios para el uso social de los espacios costeros en polos turísticos.	4. Actualización de PDU con criterios para el uso social de los espacios costeros en polos turísticos	Lista de verificación
	1.4. Apoyar en el diseño, implementación y/o coordinación de acciones para reducir la vulnerabilidad en el marco de los Programas Estatales de Cambio Climático y los instrumentos de política pública en materia de cambio climático.	5. # PACCMUC actualizado	Lista de verificación
	1.5. Promover la identificación de áreas con potencial para reubicar los asentamientos humanos y/o infraestructura urbana que se encuentren en zonas de riesgo.	6. Identificación de asentamientos humanos y/o infraestructura urbana que se encuentren en zonas de riesgo	Lista de verificación
2. Fortalecer las economías locales, mejorar la competitividad regional y contribuir a la nacional, incentivando las actividades económicas y productivas responsables con el medio ambiente marino y costero.	2.1 Impulsar estrategias de política exterior en coordinación intersectorial con las dependencias y entidades competentes involucradas en la gestión y manejo sustentable de las zonas marinas mexicanas.	7. # Acuerdos de cooperación con redes internacionales en MIZC y playas	Simple - Cuantitativo
	2.2 Impulsar la elaboración de programas con criterios ambientales, económicos y sociales para el desarrollo y aprovechamiento sustentable de las zonas costeras y marinas.	8. # programas de desarrollo y aprovechamiento sustentable de las zonas costeras y marinas	Simple - Cuantitativo
	2.3 Promover esquemas de certificación sustentable de los procesos y actividades productivas para los municipios costeros asociados a los servicios ecosistémicos en la zona marino-costera.	9. # de certificaciones sustentables de servicios ecosistémicos	Simple - Cuantitativo
	2.4 Promover el incremento de la capacidad instalada de energías renovables en los estados costeros.	10. # de instalaciones orientadas a la energía renovable	Simple - Cuantitativo

Tabla 1. Lista de indicadores de la Política Nacional de Mares y Costas. Elaboración propia con base en DOF (2018).

Objetivo	Estrategias	Indicadores	Tipo de indicador
3. Asegurar que la estructura y función de los ecosistemas marino-costeros no sufran alteraciones irreversibles y en su caso se recupere su resiliencia y mantener, inducir o incrementar los bienes y servicios que prestan y su calidad paisajística.	3.1 Promover la elaboración del Inventario Nacional Costero, basado en variables socio-económico-ambiental que contribuyan a la evaluación operacional de la salud oceánica	11. Inventario local costero	Lista de verificación
	3.2 Colaborar en la elaboración y/o instrumentación de los cuatro Programas de Ordenamiento Ecológico Regionales y Marinos.	12. Programas de ordenamiento ecológico del Caribe	Lista de verificación
	3.3 Participar en la formulación o actualización de instrumentos de regulación y ordenamiento pesquero.	13. # de instrumentos de regulación y ordenamiento pesquero	Simple - Cuantitativo
		14. # de ordenamientos pesqueros actualizados	Simple - Cuantitativo
	3.4 Promover el ordenamiento ecológico y/o territorial local en los municipios con frente litoral, determinados como prioritarios.	15. Ordenamiento ecológico local	Lista de verificación
	3.5 Promover la creación de un Sistema Nacional de Monitoreo e Información Marina y Costera.	16. Sistema de información de monitoreo marino y costero	Lista de verificación
	3.6 Instrumentar las acciones necesarias para la conservación y manejo de los ecosistemas de manglar y la biodiversidad en las zonas marítimo costeras.	17. # de instrumentos de conservación y manejo de los ecosistemas de manglar y la biodiversidad	Simple - Cuantitativo
	3.7 Promover la elaboración de estudios de peligro y/o Atlas de Riesgo para las regiones costeras del territorio nacional definidas como sensibles por la autoridad competente y/o esta Comisión.	18. Atlas de riesgo actualizado	Lista de verificación
3.8 Impulsar la ratificación y puesta en marcha de los compromisos Internacionales signados por México en materia de mares y costas.	19. Ratificación y avance de los compromisos en materia de mares y costas	Lista de verificación	

lombia), la selva y manglar (Área protegida e flora y fauna) y del manto acuífero (Zona de protección y de recarga de agua de la isla de Cozumel). Estos ecosistemas protegidos se consideran en las acciones del Plan de urbano municipal y el ordenamiento ecológico local.

Así, la construcción de herramientas para el logro de una visión del manejo de las playas y las costas tiene varios elementos, como la caracterización geomorfológica de las playas (figura 4), donde predominan

las costas bajas arenosas y las plataformas de abrasión o cársticas. En total, el sistema de playas de Cozumel representa 6 709 895.95 m², las cuales presentan una serie de concesiones para su uso (figura 5 y 6).

De las concesiones para la zona federal marítimo terrestre, se tienen 305 unidades registradas para el año 2018, de las cuales sólo el 61 % es regular (al corriente de pagos, actualización catastral y papeles en regla); el 33 % se encuentra en una situación irregular al no cumplir con uno de esos

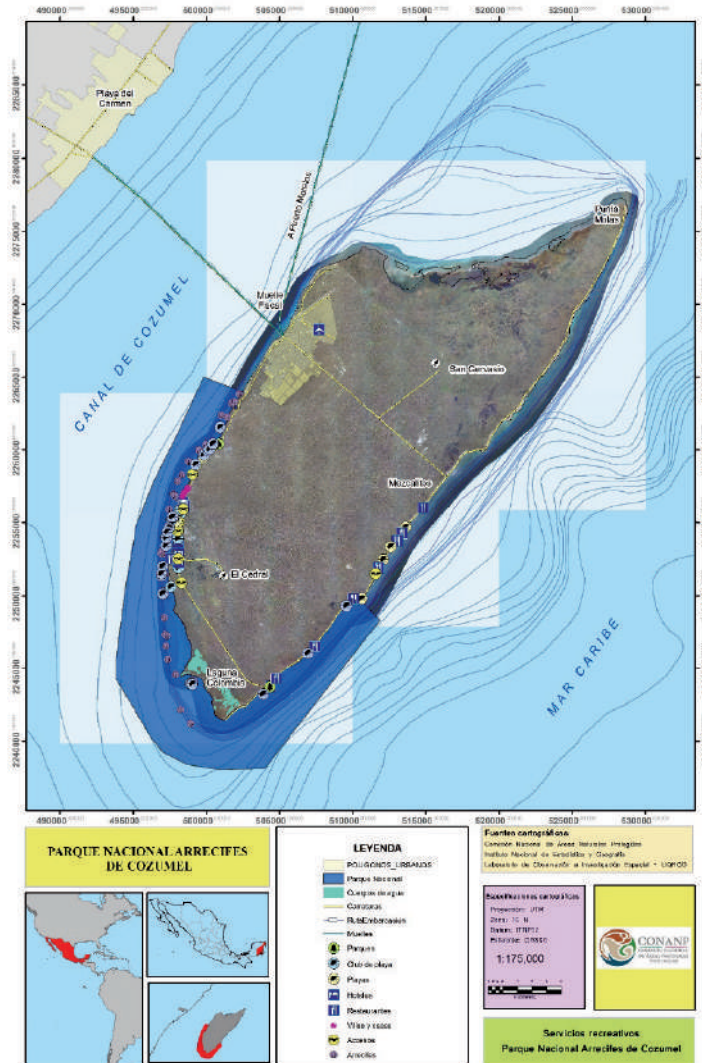


Figura 5. Mapa de uso recreativo en el sector sur de la isla de Cozumel y colindancia con el Parque Marino nacional arrecifes de Cozumel. (Arroyo *et al.*, 2014).

tres elementos y sólo el 6% se encuentra en situación irregular o concesión vencida (tabla 2).

Los usos en la zona federal marítimo y terrestre de Cozumel son: 45 % en hoteles, condominios, club de playa y servicio mixto (hotel y playa), uso de restaurantes bar y

servicio al turismo; 18 % en casas habitación, 20 % a ornato, protección y muelle embarcadero; 5 % no tiene uso asignado y menos del 4 % es de playa pública, acceso a playa y de uso militar. La tabla 3 muestra el tipo de concesiones otorgadas. Cabe destacar que existen 5 balnearios públicos

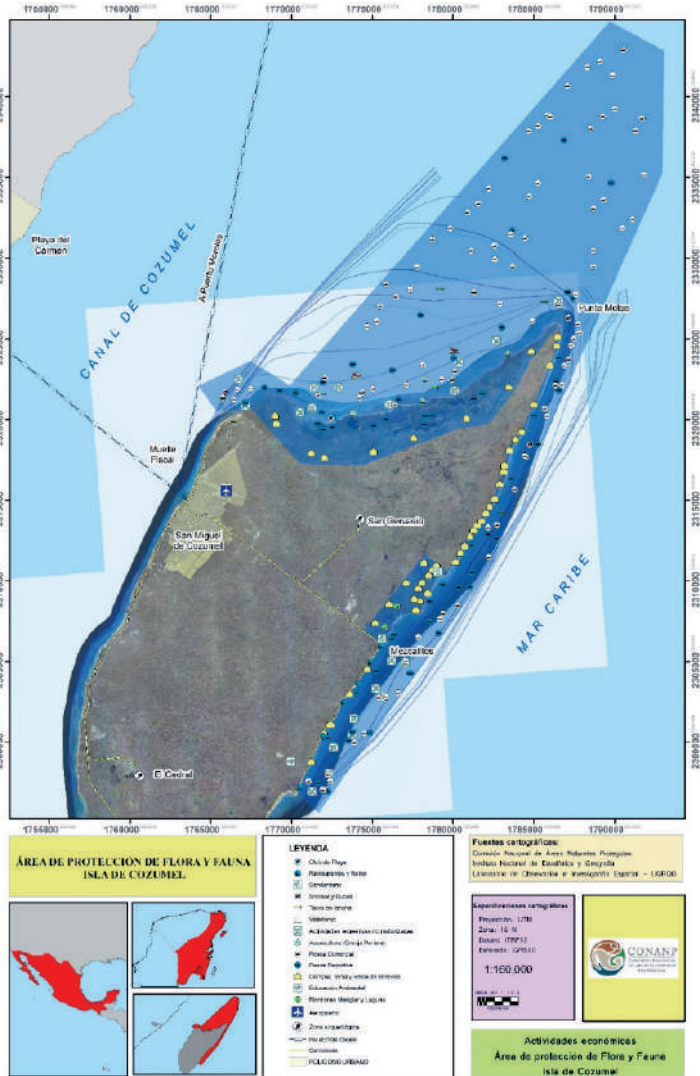


Figura 6. Mapa de uso recreativo en el sector norte de la isla de Cozumel y colindancia con el Área protegida de flora y fauna isla de Cozumel. (Arroyo *et al.*, 2014a).

y dos accesos públicos de playa, además de 13 clubes de playa. Resalta que las cinco playas públicas se registraron como prioritarias para integrarse al Programa Playas Limpias desde el año 2003 y se reafirmó el compromiso de acción para la ACIS (ACIS, 2005); sin embargo, en la actualidad, ninguna playa de Cozumel está integrada al

programa Proplayas (CONAGUA, 2018).

Finalmente, el uso de la zona costera occidental dentro del sistema urbano está orientado a los negocios (figura 7). El 27 % se orienta a la venta de artesanías, tabaquerías, tequileras y tiendas de conveniencia; el 25 % al giro de alimentos y bebidas, preferentemente restaurantes y bares; el 16 % a

Tabla 2. Concesiones y Gestor de la zona federal Marítimo y terrestre de Cozumel 2018.
Elaboración propia con base en datos de ZOFEMAT (2018).

Vigencia		Gestor	
Categorías	Total	Categorías	Total
Indefinido	8	federal	5
Irregular	100	h.Ayuntamiento de cozumel	8
Regular	189	organización civil	4
Sin conseción	3	particular	161
Vencido	5	representante legal	126
	305	Sin dato	1
			305

los servicios acuático – recreativos – buceo; 8% al servicio de hospedaje superior a tres estrellas; en igual proporción los servicios de renta de automóviles, motocicletas y bicicletas; Sólo el 6 % de los lotes costeros se usa para casas particulares. Finalmente, 4% de los lotes se encuentran en remodelación, 2% son condominios, 2% es infraestructura de soporte (astilleros, muelles, estación naval) y el resto son lotes baldíos o abandonados (figura 8), ninguno de los lotes se usa como club de playa o playa pública.

Tabla 3. Tipo de uso de las concesiones otorgadas por la ZOFEMAT, 2018.
Elaboración propia con base en datos de ZOFEMAT, 2018.

Tipo de uso	
Categorías	total
Acceso a la playa	2
Acuacultura	1
Balneario publico	5
Casa habitacion	57
Club de playa	13
Edificio condominio	31
Hotel	14
Mixto	40
Muelle embarcadero	16
Ornato	23
Proteccion	51
Restaurante bar	15
Servicio al turismo	20
Sin uso	15
Uso militar	2

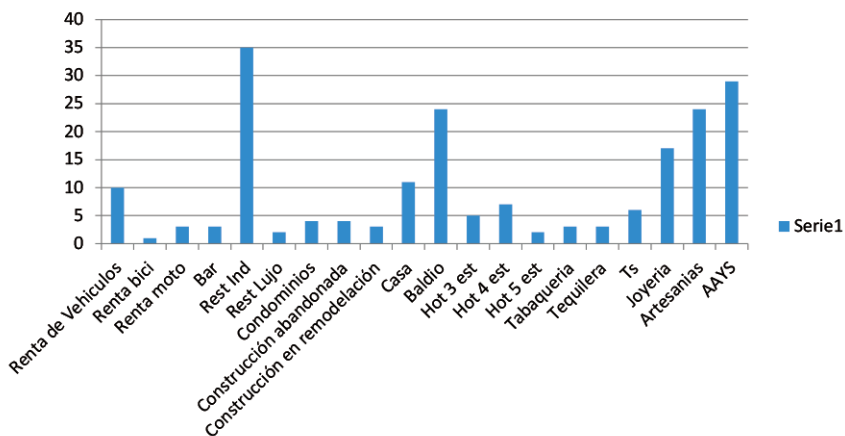


Figura 7. Inventario socio-económico en la costa occidental San Miguel de Cozumel. Elaboración propia a través de relevamiento de campo, enero-agosto de 2017.

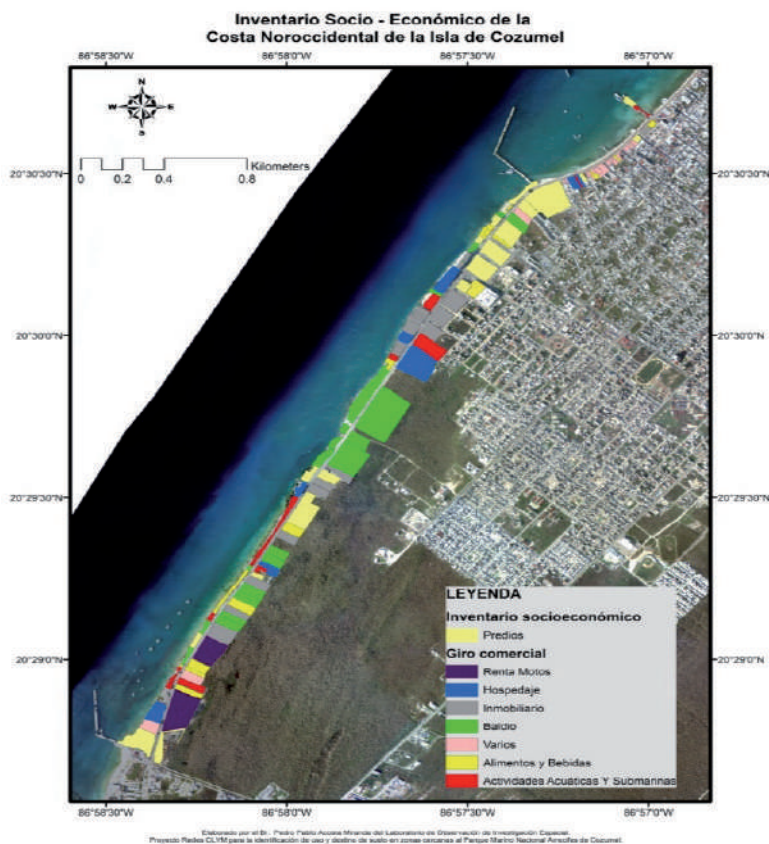


Figura 8. Mapa del inventario socioeconómico del en la costa oriental de la ciudad de Cozumel. Elaboración propia.

Las practicas favorables

La gestión basada en ecosistemas EBM, señala la necesidad de tener tres referentes para la toma de decisiones (UNEP, 2011, tomado de Barragan, 2014): Visión, estableciendo los fundamentos para la gestión; planificación, donde queda establecido el diseño de la gestión, y la implementación, donde se aplica y adapta la gestión basada en ecosistemas.

La visión de la gestión basada en ecosistemas de la costa y playas de Cozumel quedó establecida al instaurarse la ACIS como una entidad donde se integraron acciones que atendían los asuntos prioritarios de tener un relevamiento de los usuarios de los lotes costeros, las concesiones y la integración de planes de largo plazo de los proyectos turísticos, todo ello dentro de un sistema de información geográfica de uso costero y marino.

El diseño de la gestión promovió la evaluación de ecosistemas en función de los diagnósticos para la creación de nuevas áreas protegidas, la ordenanza de ordenamiento territorial y zona marítima contigua y, conjuntamente, la propuesta operativa de la misma ACIS. Los objetivos se establecieron para la creación de un SIG, el relevamiento fotogramétrico de lotificación, el censo de usuarios y concesiones, así como del desarrollo de la batimetría. Finalmente, en esta etapa, la implementación se llevó a cabo mediante el acuerdo de formación de una Sociedad Anónima de capital variable (ACIS, 2005; González *et al.*, 2012).

La aplicación y adaptación de la gestión basada en ecosistemas tuvo su fundamento en el monitoreo, donde todavía hoy, se tiene como base el catastro y el sistema de usuarios con categorías de vigente, en proceso o no vigente, las actividades que de-

sarrollan y la superficie que utilizan. Sin embargo, debido a la falta de sistemas de adaptación (cambios de política costera, cierre de la ACIS, afectación de dos huracanes) la aplicación del programa orientó las actividades a la comunicación y educación, sobre todo en el aspecto de gestión de la limpieza de playas y conservación de playas de protección y conservación (de tortugas, arrecifes y mangle), además de programas de señalización de áreas protegidas. Finalmente, los programas y acciones de atención de la ACIS no se soportaron en sistemas de aseguramiento financiero, lo cual derivó también a su fracaso. El uso de la gestión basada en ecosistemas tiene, según Barragan (2014), amplio margen de éxito en áreas de protección y costas bien conservadas, de ahí que la visión y ciertas acciones perduren en el manejo de las costas de Cozumel, ya que más del 70 % del territorio insular se encuentra bajo esquemas de áreas protegidas.

Así, en el monitoreo de los indicadores costeros de Cozumel, se observa:

- Pertinencia. La apropiación de la Agenda del mar y de la ACIS Cozumel por parte del gobierno municipal fue un elemento detonador para la generación de proyectos y acciones orientadas a atender conflictos y problemas básicos (ausencia de datos de usuarios, promoción de proyectos, generación de sistemas de información, inventarios de uso de suelo).
- La calidad de los datos y la obtención de información. Se promovió el censo de usuarios, la actualización catastral, la actualización de concesiones y el censo de negocios, todo bajo el esquema de depósitos de bases de datos del sistema de

información de la zona costera, acciones que continúan hoy bajo la dirección de desarrollo urbano y ecología municipal. Conjuntamente, para los monitoreos ambientales, se generaron proyectos sobre los ecosistemas (a través de las zonas atendidas por el ordenamiento ecológico y los planes de manejo de áreas protegidas, o inventarios de usos de las áreas protegidas).

- El objetivo de los indicadores de la política costera y de las acciones de la ACIS y Agenda del mar estaban destinadas al inventario de usuarios, creación del sistema de información, comparabilidad de acciones desarrollo económico y promoción de desarrollo de programas y proyectos de largo plazo.
- La tendencia y significancia de estas acciones públicas de costas y playas muestra lo relevante que fue el inventario

usuarios, la generación de información batimétrica, la restitución fotogramétrica de lotes, la estructuración de un sistema de información geográfica y proyectos que se desarrollaron a partir del 2006.

Los elementos del monitoreo revelan la gran oportunidad sobre el manejo de la costa y playas a través del esquema basado en ecosistemas, si bien la ACIS o la Agenda del Mar se han abandonado, surgieron nuevos esquemas que propiciaron la continuidad de las acciones y proyectos (Agenda de la competitividad, Agenda desde lo local, Agenda 21 del turismo, Agenda de Sustentabilidad Isla Cozumel, entre otras), la forma de adaptar la agenda a las condiciones y programas muestra una visión de los actores que promovieron estas iniciativas para la gobernanza del espacio costero insular.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Se puede reconocer una serie de problemáticas fundamentales en el interior de la gestión del espacio costero de la isla de Cozumel y que debe de afrontarse de una manera integral, entre ellas:

- El fortalecimiento de las instituciones encargadas de la gestión del litoral. Los ensayos por establecer un ente de gestión litoral y costera en la isla desapareció al suprimirse la ACIS y la Agenda del mar, dejando a la ZOFEMAT como parte de una subdirección administrativa de la Dirección de desarrollo urbano. Lo anterior dio pie a continuar renovando, cada tres años, el equipo humano de seguimiento, la infraestructura base de operación y los

bancos de datos de usuarios y permisionarios.

- Fortalecimiento de las capacidades humanas relacionadas a la gestión costera. Si bien existen centros de formación universitaria, éstos se concentran en la gestión sustentable del turismo mas no para la gestión integral de la zona costera. Las capacidades de los gestores debe de considerar las responsabilidades en cargos que deciden sobre las cuestiones y procesos que tienen lugar en las zonas costeras o sobre las políticas de desarrollo de estas. En la práctica, ello contribuye a cambiar el modelo de gestión de los recursos y manejo de los ecosistemas.

- Integración del manejo costero. Para ello es necesario enfocarse a los aspectos de colaboración intersectorial, intergubernamental, territorialidad, conocimiento y saberes, la internacionalización y el conocimiento científico. Una aproximación de este tipo se fundamenta en el manejo basado en ecosistemas.
- Desarrollo de indicadores de la zona costera bajo el enfoque de monitoreo (centrada en los procesos de definición, datos, significancia y uso) y control (pertinencia, predicción de escenarios futuros, revisión continua de objetivos y metas). Los buenos indicadores permiten comunicar acertadamente los logros y objetivos de la gestión costera, de ahí que sean los mejores aliados de los tomadores de decisiones.
- Definición de una política costera local. A finales del 2018 se aprobó la Política de mares y costas de México, en ella se definieron objetivos y estrategias base para el desarrollo del litoral y su espacio contiguo; sin embargo, su implementación y apropiación local dependerá de un plan de acción manejo integral de la zona costera promovida por los gestores locales, sin ella se continuará con un trabajo desintegrado y poco eficiente.

Conclusiones

La gestión local del espacio litoral de la isla de Cozumel se remonta a la mitad de la década de los 70, a raíz de la creación el estado de Quintana Roo. Esta experiencia local es reciente, sobre todo en el desarrollo de las capacidades locales y la promoción de instrumentos normativos e instituciones que promuevan un manejo integrado costero.

La promoción de los instrumentos de planificación costera como la Agenda del Mar, Administración Costera Integral Sustentable de Cozumel, la Agenda 21 de la isla de Cozumel o los Planes de ordenamiento local, han permitido sentar las bases para que los gestores conozcan la visión de desarrollo, las instituciones involucradas, las

reglas de operación en la zona costera y las formas de proceder para su uso y manejo.

Si bien, en este trabajo se promueve la gestión de la costa basada en indicadores, es necesario contar con instrumentos de política que permita conducir esta perspectiva y coadyuve a monitorear y controlar la gobernanza de la complejidad del espacio insular, las responsabilidades de los actores, las redes de cooperación y mecanismos de diálogo y encuentro donde se asegure la participación pública y transparencia de decisiones, siendo elementos básicos que Barragán ha denominado “soporte operativo para la gestión integrada de áreas litorales (p. 367).

Literatura citada

- Administración Costera Integral Sustentable de Cozumel (ACIS), 2005. Administración Costera Integral Sustentable de Cozumel: plan de acción. Gobierno Municipal de Cozumel, México.
- Ariza, E., R. Sardá, J.A. Jimenez, J. Mora, y C. Avila, 2008. Beyond performance assessment measures for beach management: applications to Spanish Mediterranean beaches. *Coastal Management*, 36: 47-66.
- Arroyo, A., Segrado, R. Frausto, O. Amador, K.Moo, y T. Ihl, 2014. Estudio de Límite de Cambio Aceptable del Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel. CONAP-UQROO. México, 145 p.
- Arroyo, A., R. Segrado, O. Frausto, K. Amador, M. Moo, y T. Ihl, 2014a. Estudio de Límite de Cambio Aceptable del Área de Protección de Flora y Fauna Isla Cozumel. CONAP-UQROO. México, 145 p.
- Azuz-Adeath, I., J.L. Ferman, I. Espejel, E. Rivera-Arriaga, G. Seingier, y C. Vázquez, 2010. Antecedentes del proceso de construcción de indicadores para la gestión costera y marina ante el cambio climático de la Red Mexicana de Manejo integrado costero-marino. p. 873-900 En: E. Rivera – Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche – Gual y G. Viillalobos – Zapata (Eds). Cambio climático en México un enfoque costero-marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetsy – Universidad, Gobierno del estado de Campeche.
- Barrado Timón, D.A., 2002. La articulación territorial del turismo: apuntes desde la perspectiva territorial y la sectorial. *Cuadernos de ordenación del territorio*, 3: 3-7.
- Barrado Timon, D. A., 2004. El concepto de destino turístico. Una aproximación geográfico-territorial. *Estudios Turísticos*, n.º 160: 45-68.
- Barragan, J. M., 2014. Política, gestión y litoral: Una nueva visión de la gestión integradora de áreas litorales. UNESCO – Madrid. 686 p.
- Beaumont, N.J., M.C. Austen, J.P. Atkins, D. Burdon, S. Degraer, T.P. Dentinho, S. Deros, P. Holm, T. Horton, E. van Ierland, A.H. Marboe, D.J. Starkey, M. Townsend, y T. Zarzycki, 2007. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 253-265.
- Benseny, G., 2006. El espacio turístico litoral. *Aportes y transferencias*, 10(2): 102-122. Universidad de Mar del Plata, Argentina.
- Berkes, F., y C. Folke (eds), 1998. Linking social and ecological systems. Management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge: Cambridge Press.
- Brenner, J., J.A. Jiménez, R. Sardá, y A. Garola, 2010. An assessment of the nonmarket value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain. *Ocean & Coastal Management*, 53: 27-38.
- Centre Internacional d' Investigació dels Recursos costaners (CIIRC), 2010. Estat de la Zona Costanera a Catalunya. Departament Política Territorial i Obres Públiques. Barcelona.
- Clavé, S., y A. F. González Reverté, 2005. Planificación territorial del Turismo. Turismo. Editorial UOC. Barcelona.
- Coll Hurtado, A., 2016. Espacio y Ocio: el turismo en México. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2018. Informe Proplayas 2017. Comisión nacional del Agua. México. <ftp://ftp.conagua.gob.mx/playaslimpias/Resumengeneral/>
- Cordera, R. y Provencio E., (Coords), 2018. Propuestas estratégicas para el desarrollo 2019-2024. UNAM - México. 307 p.
- Curtin, R., y R. Prellezo, 2010. Understanding marine ecosystem based management: A literature review. *Marine Policy*, 34: 821-830.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2002. Programa de ordenamiento ecológico de Cozumel y su área de marítima de influencia. Diario Oficial de la Federación. Gobierno de la República. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/QUINTANA%20ROO/Municipios/Cozumel/COZPro1.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2018. ACUERDO mediante el cual se expide la Política Nacional de Mares y Costas de México. Diario Oficial de la Federación. Gobierno de la República. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545511&fecha=30/11/2018&print=true

- González, R., I. Espejel, J.L. Fermán y A. García, 2012. La Administración Costera Integral Sustentable en México: Un Intento Fallido de Manejo Integrado de la Zona Costera. *Costa*, 1(1): 105-121.
- James, R.J., 2000. From beaches to beach environments: linking the ecology, human use and management of beaches in Australia. *Ocean & Coastal Management*, 43: 495-514.
- Lozoya, J.P., R. Sardá, y J. Jimenez, 2011. A methodological framework for multihazard risk assessment in beaches. *Environmental Science & Policy*, 14: 685-696.
- Lozoya, J.P., R. Sardá, y J.A. Jiménez, 2014. Users expectations and the need for differential beach management frameworks along the Costa Brava: Urban vs. natural protected areas. *Land Use Policy*. Elsevier. Spain.
- Martínez, M., A. Intralawan, G. Vazquez, O. Perez-Maqueo, P. Sutton, y R. Landgrave, 2007. The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63: 254-272.
- Menoya Zayas, S., 2014. La gestión de destinos turísticos, algunos referentes teóricos y prácticos. Marco teórico para la gestión de destinos turísticos. Consultado el 2 de mayo de 2017, [disponible en: <https://www.gestiopolis.com/marco-teorico-para-la-gestion-de-destinos-turisticos/>]
- Olsen, S.B., G.G. Page, y E. Ochoa, 2009. The Analysis of Governance to Ecosystem Change: a Handbook for Assembling a Baseline. GKSS Research Center, Geesthacht, p. 87. LOICZ reports and studies, n° 34.
- Ortiz Pérez, M.A., 2016. La zona costera: estructura, dinámica, amenazas y conflictos futuros. En: Moncada Maya, O.; López López, A. (2016) Geografía de México: una reflexión espacial contemporánea. Instituto de Geografía de la UNAM.
- Prabpriree, M., T. Maneenetr, P. Siritwong, y K. Yai-pool, 2016. Implementing Sustainable Beach Tourism Management Framework for the Royal Coast Cluster, Thailand. *Canadian Center of Science and Education*. Vol 12, No. 8.
- Sardá, R., y M., Fluvià, 1999. Tourist development in the Costa Brava (Girona, Spain): A quantification of pressures on the Coastal Environment. p. 267-276. In: Salomons, W., Turner, R.K., Lacerda, L. y Ramachandran, S. (eds.), *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management*. Springer, Berlin.
- Sardá, R., J. Francesc-Valls, y J. Pintó, 2012. Un nuevo modelo integral de gestión de playas. Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas. Documenta Universitaria. Girona. 196 p.
- Sardá, R., J. Pintó, y J.F. Valls, 2013. Hacia un nuevo modelo integral de playas. Documenta. Publ., Girona.
- Secretaría de Turismo (SECTUR), 2013. Agenda de Competitividad de la Isla de Cozumel. Secretaría de Turismo. México. <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Cozumel.pdf>
- Tett, P., A. Sandberg, y A. Mette, 2011. Sustaining coastal zone systems. Dunedin Academic Press, Edinburg, 173 pp.
- Valdemoro, H., y J. Jiménez, 2006. The Influence of Shoreline Dynamics on the Use and Exploitation of Mediterranean Tourist Beaches. *Coastal Management*, 34: 405-423.
- Yepes, V., 1995. Gestión integral de las playas como factor productivo de la industria turística: El caso de la Comunidad Valenciana. III Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. (Vol III): 958-976. Valencia, 3 y 4 de mayo de 1995. SPUPV. 95.3017. Depósito Legal: V-5195-1995. ISBN: 84-7721-358-5 (Volumen III). ISBN: 84-7721-355-0 (Obra completa).
- Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT), 2018. Banco de datos de concesionarios. Zona Federal Marítima y terrestre. H. Ayuntamiento de Cozumel. México.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Plásticos y basura en las zonas costeras y los océanos

A. V. Botello, S. Villanueva F. y D. León N.

Resumen

En el presente trabajo se resalta la presencia de los plásticos y basura en los mares y zonas costeras del mundo, como una consecuencia de los vertidos de basura directa o indirectamente a las zonas costeras y oceánicas. Se detalla la presencia en los mares del mundo de las cinco grandes islas de basura que existen actualmente y de su gran amenaza para el futuro de la vida marina en esas zonas. Se explica las diferentes clases de plásticos que existen, y de las cuales se ha comprobado su existencia en los mares; así como de su larga permanencia y los efectos nocivos e incluso la muerte que les producen a los seres marinos. Se hace énfasis en el aumento constante en la producción mundial de los plásticos y su relación directa con su incremento en los diferentes ecosistemas marinos. Asimismo, se hace referencia al plasticida más tóxico contenido en los plásticos que es el “Bisfenol A” y sus efectos fisiológicos como disruptor del sistema endócrino de los humanos.

Palabras clave: tipos de plasticos, basura costera y oceánica.

Los plásticos

Hoy seguimos escandalizándonos al ver plásticos en todos los rincones del mundo, en todos los resquicios de los océanos. Se han encontrado plásticos hasta 10 000 metros de profundidad, y sabemos que los plásticos y microplásticos han llegado hasta el Ártico y la Antártida. Además, ya es más que conocido que los plásticos también se acumulan en toda la fauna marina que los ingieren por error. (<https://es.greenpeace.org/es/noticias/los-oceanos-del-mundo-estan-llenos-de-plasticos-diamundialdelos-oceanos/>)

Más de un millón de aves y más de 100.000 mamíferos marinos mueren cada año como consecuencia de todos los plásticos que llegan al mar (<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>). Además, ya están impactando zonas tan remotas y sensibles como la Antártida. Estos plásticos de un solo uso que consumimos y de los que nos intentamos deshacer, al final vuelven a llegar a nuestra vida a través del pescado y mariscos que consumimos, ya que estos también habrán ingerido plásticos.

Las basuras marinas se encuentran presentes a lo largo y ancho del planeta y son una amenaza para los ecosistemas de agua dulce y los marinos, tanto costeros como de aguas abiertas. La definición de basura marina, de acuerdo con el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP, por sus siglas en inglés) engloba cualquier material manufacturado o procesado sólido y persistente, eliminado o abandonado en la costa o en el mar. De acuerdo con esta organización y con diversos autores, se estima que entran en el océano cada año entre 6 a 8 millones de tone-

ladas de basuras marinas. Esta información la corrobora la revista Science (2010), en el cual afirman que en el 2010 se vertieron estos desechos desde 192 países que tienen costa (Law *et al.*, 2010).

Actualmente, las basuras marinas están ampliamente distribuidas por los océanos, en aguas abiertas y en zonas costeras, siendo principalmente plásticos. A pesar de que existen diversos tipos de basuras marinas, tales como vidrio, papel, cartón, metal, tela, residuos relacionados con la pesca, municiones, madera, filtros de cigarrillos, residuos sanitarios provenientes de aguas residuales, cuerdas y juguetes entre otros. Múltiples estudios han constatado que los plásticos representan más del 80 % de las basuras marinas (figura 1). (Jambeck *et al.*, 2015).

Recientemente, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y ante la creciente amenaza que representa la basura y los plásticos en los océanos, ha establecido un programa mundial para enfrentar esta problemática y ha solicitado a los gobiernos de todo el mundo a implementar proyectos y medidas urgentes para resolver la problemática a nivel nacional, regional y mundial (<https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/reportajes/mares-limpios-dos-anos-de-la-campa%C3%B1a-lider-contra-la-contaminacion>).

Así, ha solicitado a los gobiernos que al través de sus correspondientes agencias ambientales, establezcan planes de vigilancia continua y saneamiento de las áreas costeras y marinas en donde la basura y los plásticos representen una creciente amenaza tanto para el ambiente y los recursos naturales, como a los pobladores de esas áreas.



Figura 1. Ingreso de desechos plásticos de la tierra hacia el océano en 2010.

Fuente: Jambeck *et al.*, 2015.

Por lo tanto, la generación de información actualizada y sistematizada sobre la salud de los ambientes costeros, principalmente; será de importancia vital en el presente y en el futuro para afrontar los retos impuestos por factores antropogénicos, la variación natural y los efectos del cambio climático y así, valorar correctamente sus consecuencias, no solo para los ecosistemas costeros lagunares y marinos, y los servicios ambientales que estos ofrecen, sino también para los riesgos sobre la sustentabilidad de las poblaciones humanas que los habitan.

Dicha información, también servirá de base, para valorar la vulnerabilidad de las zonas costeras y proponer medidas de adaptación y mitigación como una respuesta a las diversas amenazas a que serán expuestas estas áreas en un futuro cercano.

Se señala por múltiples estudios que los mares y océanos se han convertido en ver-

tederos de basura de todo tipo y ya es una realidad aceptada por muchos expertos (Eriksen *et al.*, 2014; Jambeck *et al.*, 2015; Kühn *et al.*, 2015), la única incertidumbre es que tan grandes son los basureros?? Según la primera estimación de cuánto plástico llega a las aguas cada año en todo el mundo, la situación es mucho peor de lo que se esperaba.

Si se colocara toda esa basura a lo largo de las costas de la Tierra, habría cinco bolsas de la compra llenas de plásticos cada 30 centímetros, dice Jenna Jambeck, investigadora de la Universidad de Georgia (Jambeck *et al.*, 2015). La masa de residuos crecerá cada año. En 2015 se lanzarán al mar más de nueve millones de toneladas y, en 2025, el doble que en 2010. En 2025 la cantidad acumulada puede alcanzar los 155 millones de toneladas. Hasta ahora, varios trabajos habían estimado cuánto plástico hay ya flotando en el mar, pero ninguno se

había propuesto calcular cuánto llega desde tierra cada año. El equipo de Jambeck lo ha hecho con base a datos oficiales de producción de plásticos, renta de cada país y gestión de residuos. Su estudio se centra en las poblaciones costeras, las que viven a una distancia de hasta 50 kilómetros del mar y el trabajo ha englobado zonas en las que habitan unos 2 000 millones de personas.

Los autores (Jambeck *et al.*, 2015) consideran que el origen de los residuos que acaban en el mar está en todo ese plástico que se tira de mala forma (*e.g.*, en vertederos a cielo abierto o como desperdicios en el suelo) y que escapa a los servicios de recogida de basuras. Una fracción, mayor o menor dependiendo de las condiciones en cada país, acabará en el mar. El estudio ha calculado esa fracción con base a datos de los estados unidos de América y después los ha extrapolado al resto usando varios rangos de conversión. Los cálculos indican que en 2010 se produjeron 99.5 millones de toneladas de residuos plásticos en el área estudiada, de las que 31.9 millones fueron mal retirados, es decir, susceptibles de llegar al mar (Jambeck *et al.*, 2015).

La distribución global de la producción de plásticos y su consumo se muestra en la figura 2. La mayoría de los plásticos son producidos en América del Norte, Europa occidental y China que también son los principales consumidores de plásticos. En general, hay una buena proporcionalidad entre el plástico producido y consumo en las regiones. En términos de consumo de plástico, para Norteamérica y occidente Europa el gran consumo se debe principalmente al alto consumo de plástico per cápita. Para China es predominantemente un resultado de la gran población, aunque, el consumo de plástico per cápita ha aumentado de alrededor de 25 kg / capita en

2000 a actualmente alrededor de 45 kg/capita (Panda *et al.*, 2010; Fundación Plastindia, 2014; Jambeck *et al.*, 2015 (<https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/11700/retrieve>)).

China encabeza la lista de 20 países más contaminantes, en la que también está la Unión Europea y los Estados Unidos de Norteamérica, seguido por Indonesia, Filipinas, Vietnam y Sri Lanka. Más países asiáticos que actualmente experimentan una potente expansión económica como Bangladesh, Malasia o Myanmar también aparecen alto en la lista, intercalados con algunos africanos como Egipto, Nigeria o Suráfrica, entre otros, Latinoamérica y Caribe presentan un porcentaje de participación del 8 % (figura 2).

Su evolución comenzó desde el uso de materiales naturales con propiedades plásticas, tal como la laca o la goma de mascar, lo que dio paso a la modificación química de materiales naturales como el caucho, nitrocelulosa o el colágeno, hasta la aparición de materiales completamente sintéticos tal como la parkesina, sintetizada por Alexander Parkes en 1855 (conocida actualmente como celulosa); el policloruro de vinilo (PVC) entre 1838 y 1872: y la baquelita sintetizada en 1907 por el químico Leo Baekeland, siendo el primer plástico producido en masa (Plastics Europe, 2019).<https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>, <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/history.aspx>, <https://www.plasticseurope.org/es/about-us/who-we-are>).

Debido a que son livianos, resultan de fácil manipulación y optimización de costos. Los envases plásticos son capaces de adoptar diferentes formas como bolsas, botellas, frascos, películas finas y tuberías, entre otros. Son aislantes térmicos y eléctricos.

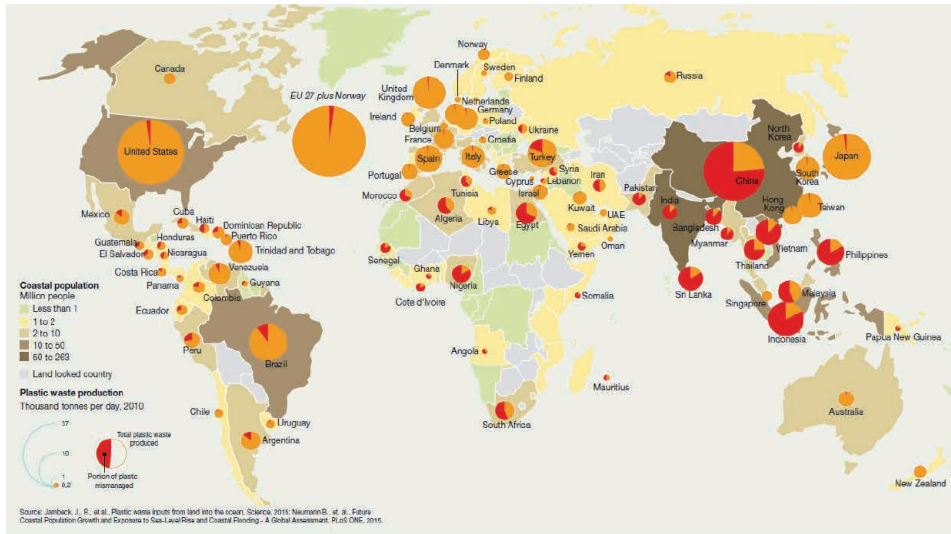


Figura 2. Residuos de plásticos producidos y mal gestionados.
Fuente: <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/11700/retrieve>

cos, resisten a la corrosión y otros factores químicos y son fáciles de manejar. Los plásticos tienen afinidad entre sí y con otros materiales, admitiendo diversas combinaciones (Ortiz, 2013).

Producción de plástico

De acuerdo con Greenpeace (2019), la producción total de plástico en 2016 alcanzó las 335 millones de toneladas. En 2020 se superarán los 500 millones de toneladas anuales, lo que significaría un 900% más que los niveles de 1980.

En México para el año 2006, superó los 4 millones de toneladas. Se calcula que anualmente cada persona en México consume 49 kg de plásticos (Ortiz, 2013).

Contaminación por plástico

Impulsado por un estilo de vida moderno, la mayoría de los plásticos se usan en la fabricación de objetos de un solo uso, los cuales se encuentran con mayor frecuencia dentro del ambiente marino. Del total de

la basura marina, se calcula que los plásticos representan el 60-80 % (Derraik, 2002), lo cual corresponde más de a 50 billones de fragmentos de plástico (Van Sebille *et al.*, 2015).

Se conoce a los plásticos como el conjunto de materiales sintéticos o semi-sintéticos formados a partir de polímeros de moléculas orgánicas obtenidas de materias primas como la celulosa, carbón, gas natural o petróleo, entre otros; el cual se puede deformar hasta conseguir la forma deseada a través de extrusión, moldeado o hilado (Díaz, 2012).

Greenpeace (2019) marca que el mercado del plástico se encuentra dominado por tres tipos principales:

- **Polietileno (PE):** Bolsas, láminas y películas de plástico, contenedores (incluyendo botellas), microesferas de cosméticos y productos abrasivos.
- **Polyester (PET):** Botellas, envases, prendas de ropa, películas de rayos X, entre otros
- **Polipropileno (PP):** Electrodo-

mésticos, muebles de jardín, autopartes, entre otros.

- **Cloruro de polivinilo (PVC):** Tuberías y accesorios, válvulas, ventanas, entre otros.

Estudios anteriores, incluido el realizado con datos de la expedición Malaspina habían calculado que hay entre 6 350 y 245 000 toneladas de plástico flotante (https://elpais.com/elpais/2014/12/10/ciencia/1418233815_012577.html). Sus autores ya advirtieron de que se trataba de una fracción muy pequeña de lo que realmente podría haber en los océanos. Para Andrés Cózar investigador de la Universidad de Cádiz que participó en el estudio de Malaspina, el trabajo actual aporta *“una pieza importante de la problemática de la contaminación marina con plásticos”*. *“Probablemente, el punto más débil es la conversión de plástico mal gestionado a plástico que acaba en el océano, pues usan porcentajes bastante constantes para todos los países”*, advierte. Pero aún, así las estimaciones encajan con

las cantidades de plástico que su propio equipo echó en falta al analizar los residuos en superficie (figura 3).

Un nuevo estudio, refuerza la hipótesis de una evolución en vertical del plástico en el mar. La mayor cantidad no estaría en esas supuestas islas de basura, sino una masa mucho mayor que se descompone y acaba en fondo. Cózar et al. (2014) señalan que cuando se trata de plástico, en la fauna marina “siempre que se busca se encuentra”, y ya se ha hallado este material en el sistema digestivo de en unas 600 especies, desde ballenas a mejillones. Otras mediciones recientes de las capas profundas del océano han detectado una gran abundancia de microplásticos, dice, y todas estas piezas del problema apuntan a que hay un tránsito vertical del plástico desde la superficie al fondo marino cuyas consecuencias son desconocidas. “No sabemos lo que está pasando con todo ese plástico en el fondo marino”.

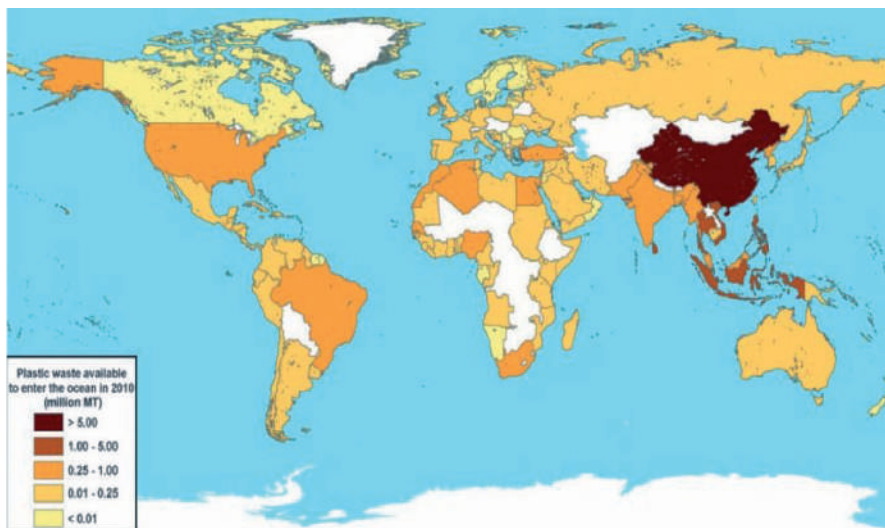


Figura 3. Mapa global con cada país sombreado de acuerdo con la masa estimada de desechos plásticos mal administrados [millones de toneladas métricas (TM)] generados en 2010 por las poblaciones que viven dentro de los 50 km de la costa. Consideramos 192 países. Los países no incluidos en el estudio están sombreados en blanco. Fuente: Jambeck et al., 2015, <http://science.sciencemag.org/>.

Los autores del estudio calculan que, de no hacer nada, en 2025 se habrán vertido al océano unos 155 millones de toneladas de plásticos. Se trata de una proyección incierta, claro, y además, dicen, hay posibilidad de reducir de forma drástica la llegada de los residuos al mar, por ejemplo, mejorando los sistemas de recogida de basuras. Uno de los mayores retos es conseguir que esto suceda en los países en desarrollo que copan la lista de los más contaminantes.

Por lo tanto, la generación de información actualizada y sistematizada sobre la salud de los ambientes costeros, principalmente en las áreas costeras; será de importancia vital en el presente y en el futuro para afrontar los retos impuestos por factores antropogénicos, la variación natural y los efectos del cambio climático y valorar correctamente sus consecuencias, no solo para las áreas costeras y los servicios ambientales que estos ofrecen, sino también para los riesgos sobre la sustentabilidad de las poblaciones humanas que los habitan.

Datos recientes señalan que en los giros oceánicos de todo el mundo (las zonas centrales de los mares) ya hay más plástico en suspensión que plancton. Son las llamadas “grandes manchas de basura”, en su gran mayoría están compuestas por fragmentos pequeños (microplásticos) y dispersos en superficies gigantescas. Son gigantescas “sopas” de plástico, se estima que su tamaño es de 1 millón 400 mil kilómetros cuadrados (figura 4) (<http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/news/2016/Agosto/Greenpeace-advierte-del-creciente-riesgo-de-los-plasticos-en-el-pescado-y-marisco/>).

Para hacernos una idea de lo tremendo de esta cantidad de basura flotando en nuestros océanos, el total de la superficie de la isla de basura sólo del Pacífico, es ¡3

veces nuestro país! Increíble, ¿verdad? En total, suman alrededor de 1 400 000 km². Fue descubierto en 1997 por el oceanógrafo Charles Moore, quien no hizo caso a las recomendaciones de evitar esta zona del Pacífico, poco recomendable para navegar por la falta de vientos y corrientes, y decidió tomar esa ruta que concluyó en tan macabro hallazgo. Actualmente, existen informes sobre los restos plásticos en los océanos desde la década de los 70. A partir de entonces, numerosos científicos, ambientalistas y demás han participado de su estudio y sobre todo de realizar proyectos para intentar conocer hasta qué punto afecta al ecosistema y a la cadena alimentaria, como en el caso del famoso Proyecto Kaisei o 5 Gyres. Fue en 2009 cuando se descubrió la mancha de basura del Atlántico Norte, relacionada también con el Giro Oceánico del Atlántico Norte.

Los cinco giros tienen las concentraciones más altas de basura plástica comparadas a otros sectores de los océanos. Están formados por pequeños fragmentos de plástico, que parecen colgar suspendidos debajo de la superficie, un fenómeno descrito como “sopa de plástico”. La isla de basura del Pacífico posee área de residuos que se expande por alrededor de 1.6 millones de km² (casi tres veces el tamaño de Francia), en donde se contiene cerca de 80 000 toneladas de plástico, dentro de los cuales los microplásticos representan el 8 % del total de la masa total, y de los 1.8 billones de pedazos de plástico, algunos son macroplásticos, lo cual incluye pedazos de redes de pescar, juguetes e incluso un asiento de inodoro (Briggs, 2018).

Se reporta que:

- Cada segundo más de 300 kilos de basura van a parar a los océanos
- Se desconoce la cantidad exacta de plás-

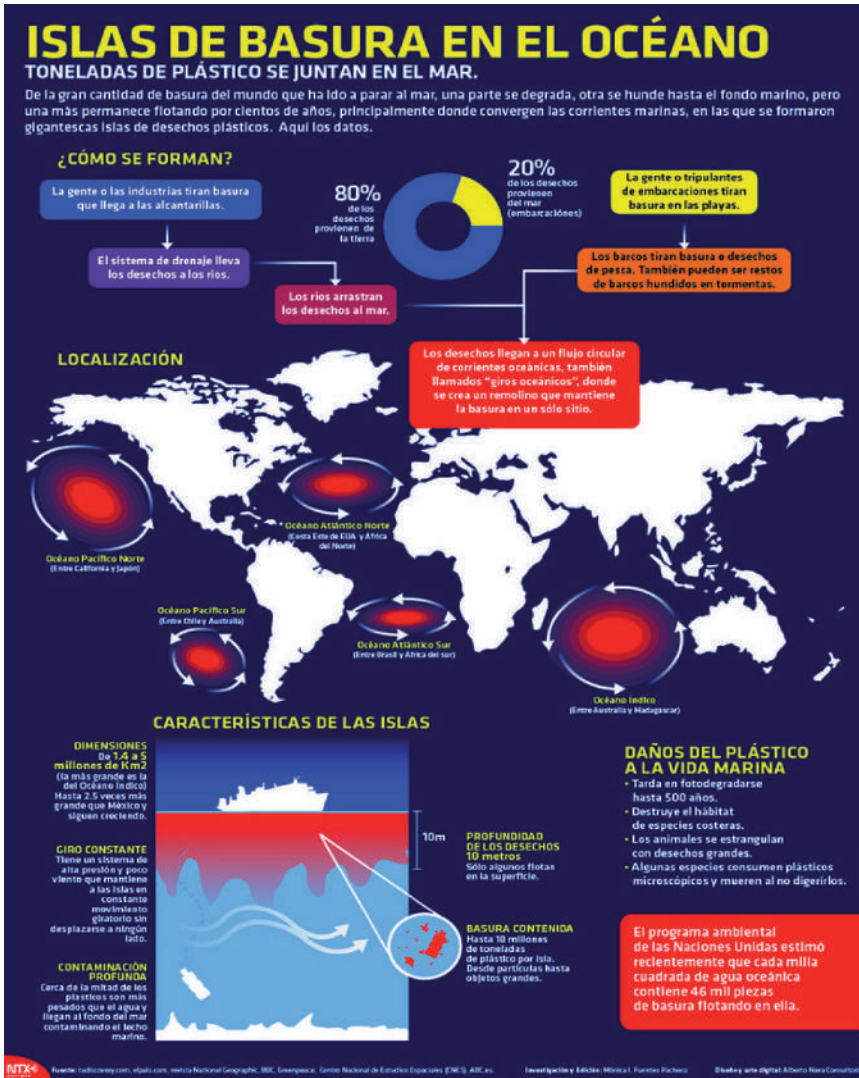


Figura 4. Islas de basura formadas en el mundo. Giros oceánicos => islas de basura.

Fuente: <https://www.pinterest.com.mx/pin/656470083160951025/>.

ticos en los mares pero se estiman unos 5-50 billones de fragmentos de plástico, sin incluir los trozos que hay en el fondo marino o en las playas.

- El 80-90 % proviene de tierra
- El 70 % queda en el fondo marino, el 15% en la columna de agua y el 15% en la superficie.

- Hay 5 islas de basura formadas en su gran mayoría por microplásticos algo similar a una "sopa": dos en el Pacífico, dos en el Atlántico, y una en el Índico (figura 4).
- Se estima que en 2020 el ritmo de producción de plásticos habrá aumentado un 900 % con respecto a niveles de

1980 (más de 500 millones de toneladas anuales). La mitad de este incremento se producirá tan solo en la última década. <https://www.pinterest.com.mx/pin/656470083160951025/>; <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/news/2016/Agosto/Greenpeace-advierte-del-creciente-riesgo-de-los-plasticos-en-el-pescado-y-marisco/>:

Se estima que alrededor de 10 millones de toneladas de plástico acaban en los océanos cada año, dentro de los cuales las botellas usadas para bebidas son de los tipos más comunes (BBC Mundo, 2017). En 2016 se vendieron alrededor de 480 000 millones de botellas de plástico en todo el mundo, de las cuales, 110 000 millones fueron fabricados por la empresa Coca Cola (BBC Mundo, 2017).

La mayoría de las veces los desechos plásticos terminan en las vías fluviales o en el océano a través de los sistemas de drenaje de agua de las zonas urbanas, por los lixiviados de los vertederos, los vertidos de los barcos, o por efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Derraik, 2002).

Fue en 2009 cuando se descubrió la mancha de basura del Atlántico Norte,

relacionada también con el Giro oceánico del Atlántico Norte. Se estima que el 80 % de la basura que forma estas islas viene de tierra firme, y el 20% de embarcaciones, según el United Nations Environmental Program. Los tamaños de estos gigantes basureros marinos son descorazonadores (tabla 1) (<https://www.sostenibilidad.com/agua/garbage-patches-islas-de-basura/>).

Los objetos más comunes recolectados en playas y zonas costeras (por número):

- Colillas.
- Fragmentos de plástico inferiores a 2.5 cm.
- Botellas de plástico.
- Envoltorios.
- Tapones de botellas de plástico.
- Popotes.
- Otras bolsas de plástico (diferentes de las de supermercado).
- Botellas de vidrio.
- Bolsas de plástico de supermercado.
- Tapones metálicos de botellas.
- Tapas de plástico (distintas de las de botellas).

Un ejemplo muy claro del uso indiscriminado del plásticos, es la empresa de la Coca-Cola, que por primera vez en su historia, ha revelado la cantidad de plástico

Tabla 1. Resumen de cálculo de las islas de basura.

	Nombre de la isla de basura	Localización geográfica oceánica	Superficie del área (km²)	Densidad de las partículas (piezas/km²)	Cantidad de plástico
1	Isla oriental	Pacífico norte	8 095 000	25 000	20 240*
2	Isla occidental	Pacífico sur	715 520	40 000	2 860*
3	Isla Atlántico	Atlántico norte	3 625 753	25 000	9 064*
4	Isla del Atlántico	Atlántico sur	1 296 180	20 000	2 590*
5	Indico	Océano Indico	2 183 480	10 000	2 185*
	Total		15 915 933		36 939

Fuente: <https://www.sostenibilidad.com/agua/garbage-patches-islas-de-basura/>

que produce cada año y la cifra es impresionante: 3 millones de toneladas de empaque, equivalentes a 200 000 botellas por minuto. Ese número, que la compañía había estado renuente a divulgar hasta ahora, corresponde a 2017 (Leyva, 2019).

Pero cuánto tarda en descomponerse los productos plásticos?

En la figura 5 se da un estimado del tiempo para cada producto.

Qué son los microplásticos - definición sencilla

Se trata de pequeñas partículas sintéticas que provienen de derivados del petróleo. Son difícilmente degradables y su origen se encuentra en la actividad industrial y el consumo doméstico, estando presente en detergentes, dentífricos, en productos de la piel como exfoliantes y protectores solares e incluso en muchas fibras sintéticas de ropa, entre otros. Puesto que estos productos son de consumo diario y siempre se usan

en contacto con el agua, los microplásticos que contienen se vierten a un ritmo constante en nuestras aguas residuales (Andrady 2011).

Los microplásticos son aquellos fragmentos de plástico cuyos tamaños abarcan desde <10 mm hasta <1 mm (Cole *et al.*, 2011). Se dividen en:

- **Primarios:** Partículas plásticas usadas en cosméticos, fármacos e industria,

Firma por un océano sin plásticos en greenpeace.es/plasticos














Plásticos: ¿cuánto tiempo tardan en descomponerse?		El mismo tiempo que hace que...	
HILO DE PESCA 	± 600 años		Colón llegó a América (1492)
BOTELLA 	± 500 años		Nació Cervantes (1547)
CUBIERTOS 	± 400 años		Galileo Galilei dijo: "la Tierra es redonda" (1630)
MECHERO 	100 años		Se hundió el Titanic (1912)
VASO 	65- 75 años		Terminó la II Guerra Mundial (1945)
BOLSA 	55 años		Llegó el hombre a la Luna (1969)
SUELA DE ZAPATO 	10- 20 años		1º teléfono móvil con pantalla de color (2000)
COLILLA 	1- 5 años		Accidente de Fukushima (2011)
GLOBO 	6 meses		Acuerdo del Clima de París (2015)

Figura 5. Tiempos de descomposición de diferentes objetos realizados a base de plástico. Fuente: Greenpeace (2015).

que ingresan a los sistemas fluviales por medio de aguas residuales.

- **Secundarios:** Generados por la interacción de macroplásticos en el medio acuático con la radiación UV de la luz solar, lo que los hace más propensos a fragmentarse.

Existe alrededor de 4 000 millones de fragmentos por cada kilómetro cuadrado de las playas, corales y superficies marinas. De igual manera, el 83 % del agua de grifo está contaminada con este residuo. Una persona promedio puede consumir 14 partículas de microplástico al día, pues no solo se encuentran en el agua potable, sino también en el pescado, la cerveza, sal marina, y cualquier producto que tenga contacto con el agua (figura 6) (<https://www.expansion.com/nauta360/volvo-ocean-race/2018/05/21/5b028f5746163f9d1f-8b456e.html>).

Por otro lado, el Programa Científico de la Volvo Ocean Race ha encontrado niveles de plástico en zonas del Océano Sur que nunca habían sido estudiadas. Este novedoso estudio se ha dado a conocer en el Volvo Ocean Race Ocean Summit, que analiza los problemas y las soluciones a la crisis del plástico durante la escala de la regata en Newport (Estados Unidos) (<https://www.expansion.com/nauta360/volvo-ocean-race/2018/05/21/5b028f5746163f9d1f-8b456e.html>)

Los hallazgos muestran que cerca del Punto Nemo había entre nueve y 26 partículas de microplástico por metro cúbico. Cuando los barcos navegaban cerca del Cabo de Hornos, en el extremo de Sudamérica, las mediciones aumentaron a 57 partículas por metro cúbico (<https://www.expansion.com/nauta360/volvo-ocean-race/2018/05/21/5b028f5746163f9d1f-8b456e.html>).

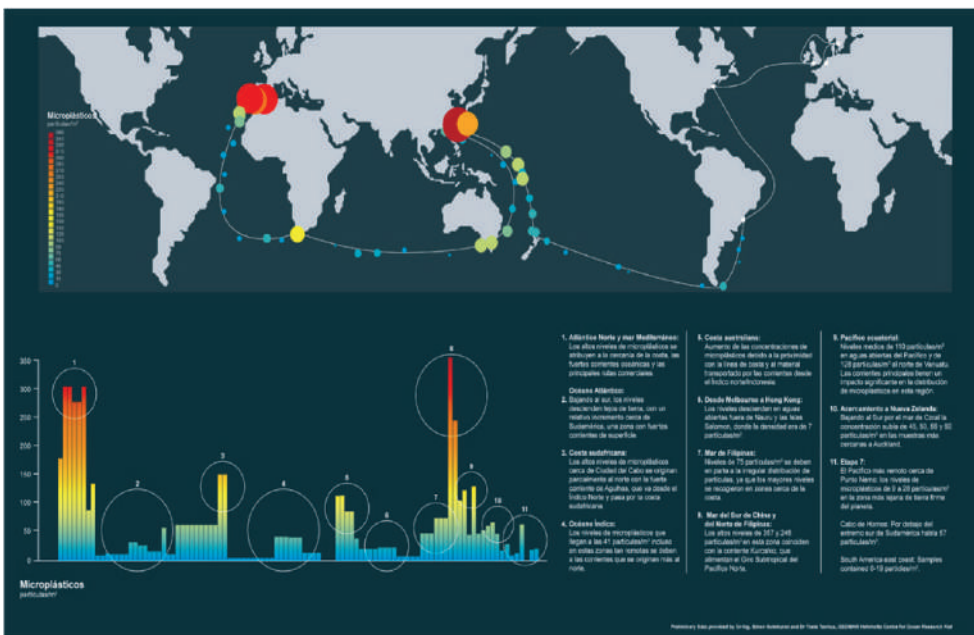


Figura 6. Microplásticos hasta en el océano más remoto del planeta. Fuente:<https://www.expansion.com/nauta360/volvo-ocean-race/2018/05/21/5b028f5746163f9d1f8b456e.html>.

Se registraron niveles de 45 partículas por metro cúbico a 452 kilómetros de Auckland (Nueva Zelanda), donde comenzó la etapa, y solo se encontraron 12 partículas por metro cúbico a 1 000 kilómetros de Itajaí, donde estaba la meta de la etapa. La diferencia en las mediciones podría explicarse por las corrientes oceánicas que transportan los microplásticos a grandes distancias (<https://www.expansion.com/nauta360/volvo-ocean-race/2018/05/21/5b028f5746163f9d1f8b456e.html>).

Los niveles más altos de microplástico encontrados hasta ahora, 357 partícu-

las por metro cúbico, se encontraron en una muestra tomada en el mar del sur de China, al este de Taiwán, una zona que se alimenta del Gran Giro del Océano Pacífico (<https://www.expansion.com/nauta360/volvo-ocean-race/2018/05/21/5b028f5746163f9d1f8b456e.html>).

Los microplásticos tienen una mayor facilidad de ingesta por parte de los organismos, así como pueden adsorber y liberar sustancias tóxicas, o liberar sustancias nocivas filtradas durante su proceso de fabricación.

Tipos, tamaños y fuentes de microplásticos

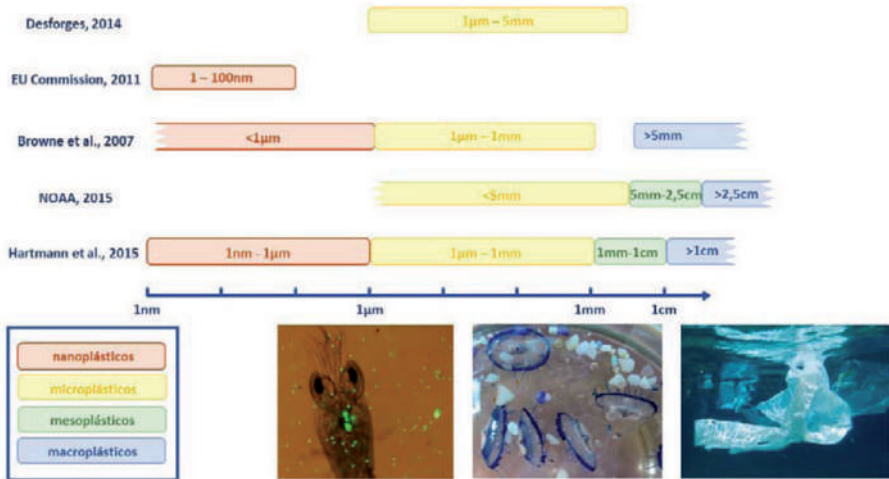
Actualmente, en la literatura científica más especializada sobre microplásticos no hay consenso sobre el intervalo de tamaños para la definición de estas partículas. De manera más genérica, los microplásticos comprenden todas aquellas partículas de plástico con un tamaño inferior a 5 mm; si bien hay autores que aplican la misma norma a partículas <2mm, de <1 mm, o incluso de <500 μm . Andrady (2011) apunta la necesidad de emplear tres términos diferentes para tres intervalos de tamaño por debajo de los 5 mm en función de las distintas características físicas y los impactos biológicos que éstos ocasionan: mesoplásticos (500 μm – 5 mm), microplásticos (50-500 μm) y nanoplásticos (<50 μm), tal como se presenta en la figura 7.

Los productos del plástico contienen intrínsecamente diversos productos químicos, como son los monómeros u oligómeros sin reaccionar, aditivos y subproductos. Además, los plásticos tienen un alto potencial para sorber (adsorber o absorber)

y concentrar químicos orgánicos hidrofóbicos disueltos en las aguas circundantes. En consecuencia, los desechos plásticos pueden ser un “cóctel químico” y pueden influir en los entornos circundantes (figura 8). Una pregunta clave relacionada con los desechos plásticos y los microplásticos es si actúan como fuentes y/o vectores de productos químicos peligrosos en el medio marino y en la vida silvestre marina. Sin embargo, todavía hay lagunas significativas en nuestro conocimiento (Hee *et al.*, 2018). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00009-6>

La problemática se acentúa más, cuando estos microplásticos liberan al ambiente al aditivo más tóxico que los compone como es el Bisfenol A. Este compuesto fue sintetizado por primera vez en 1831 por el químico ruso Aleksandr Dianin (<https://www.britannica.com/biography/Aleksandr-P-Dianin>).

El bisfenol A (BPA) o 4, 4'-(propane-2, 2'-diyl)diphenol es una sustancia química



Diferentes propuestas sobre el rango de tamaños para la definición de los microplásticos según diferentes autores. Las clasificaciones van adaptándose a medida que se siguen sucediendo las investigaciones sobre el impacto de los diferentes tamaños.

Fuente: Elaboración propia, basada en una versión de *da Costa et al.* (2016).

Figura 7. Intervalos de tamaños de los microplásticos.
Fuente: *da Costa et al.*, 2016; *Rojo-Nieto et al.*, 2017

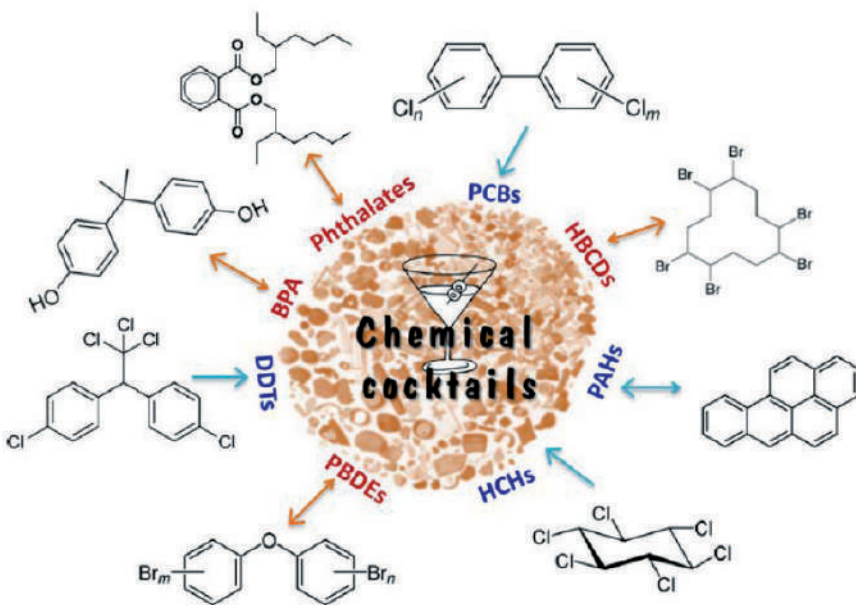


Figura 8. Microplásticos y sus productos químicos sorbidos (azules) y aditivos (rojos) asociados. Las flechas indican la dirección del movimiento químico desde o hacia los microplásticos en el agua.

Fuente: *Hee et al.*, 2018.

utilizada fundamentalmente como monómero en la producción de plásticos de policarbonato y resinas epox (figura 9).

Se produce en grandes volúmenes en todo el mundo, aproximadamente 1.15 millones de toneladas al año se utilizan en la Unión Europea y los Estados Unidos de Norteamérica, así la producción estimada de BPA en 2004 fue de 1 millón de toneladas (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00009-6>).

Se usa para fabricar una gran variedad de productos de uso común, incluyendo biberones, botellas de agua, enseres deportivos, dispositivos médicos y dentales, CD y DVD, electrodomésticos y como recubrimiento en casi todas las latas de comida y bebidas.

Anteriormente fue utilizado como estrógeno artificial para producir un rápido crecimiento del ganado y de las aves de corral. En mujeres, se empleó como tratamiento hormonal para favorecer la liberación de prolactina. Actualmente, es el monómero más común usado para la producción de diversos tipos plásticos, principalmente resinas epoxi y plásticos de policarbonato. De acuerdo con Mollo *et al.* (2013), entre los

efectos tóxicos debidos a la exposición se encuentran:

- Cambios en el comportamiento.
- Diabetes y obesidad .
- Pubertad temprana .
- Reducción de la cantidad de esperma.
- Enfermedades de próstata y cáncer de próstata.
- Cáncer de mama.
- Alteraciones cromosómicas.
- Daño cerebral.
- Deterioro de la función inmune.

El BPA es un compuesto disruptor endócrino capaz de alterar el sistema hormonal y ocasionar diferentes daños sobre la salud pública. Es capaz de causar desequilibrios en el sistema hormonal a concentraciones muy bajas, sus efectos tóxicos se deben al consumo de alimentos que han sido contaminados por contacto con materiales que contienen esta sustancia, tales como envases, latas o recipientes de muy diversa clase. Se asocia a numerosas alteraciones, basadas en una desregulación del sistema endocrino y la producción de hormonas correspondientes (<https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/>):

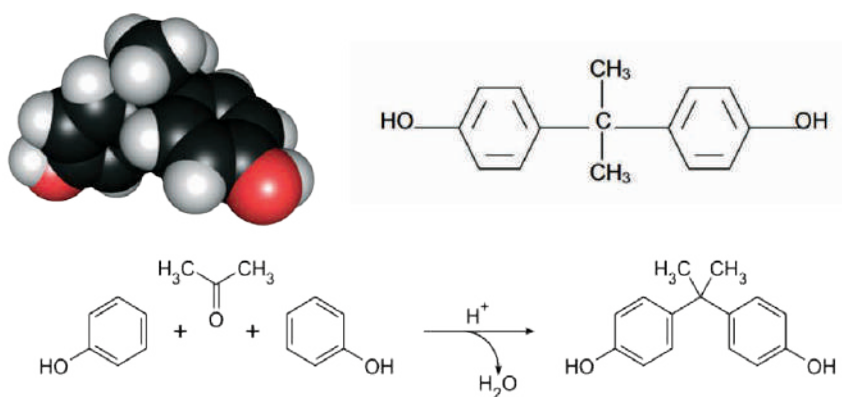


Figura 9. Estructura química del bisfenol A y su ecuación de síntesis.
Fuente: <https://www.britannica.com/biography/Aleksandr-P-Dianin>.

- **Efectos sobre el sistema reproductor masculino.** Alteración de la espermatogénesis que condiciona un descenso en la producción de esperma, de la testosterona y en general de la fertilidad masculina.
- **Efectos sobre el sistema reproductor femenino.** En mujeres, se producen cambios en la maduración de ovocitos, disminuyendo su número y calidad. Hay estudios que lo relacionan a efectos negativos sobre el endometrio, aparición de quistes ováricos abortos y partos prematuros.
- **Efectos sobre el cerebro y el comportamiento.** Produce hiperactividad, aumento de la agresividad, aumento a la susceptibilidad de sustancias adictógenas y problemas de aprendizaje.
- **Efectos sobre el metabolismo y sistema cardiovascular.** Se han establecido asociaciones con casos de diversas enfermedades cardíacas e hipertensión. Además, la exposición al BPA conlleva un aumento de los lípidos en sangre, un aumento de peso e incremento de la lipogénesis. También incide en la aparición de diabetes mellitus tipo II al aumentar la resistencia a la insulina y el número de células adiposas.
- **Efectos carcinogénicos.** Cuando el BPA se metaboliza, forma una ortoquinona que puede establecer enlaces covalentes con el ADN y desarrollar enfermedades como el cáncer de próstata y el cáncer de mama.

Impactos a la vida marina

Se ha documentado los impactos que las piezas de plástico tienen en la vida marina como pueden ser: enredos, asfixia, estrangulación o desnutrición (tras ser ingeridos y bloquear el estómago o intestino del animal) (Hasnat *et al.*, 2018).

Para las aves marinas y otras criaturas del mar más grandes, como tortugas, delfines y focas, existe el riesgo de que se enreden con bolsas de plástico y otros desechos, así como que confundir el plástico con su alimento. Ejemplo de ello es que las tortugas no pueden distinguir entre bolsas de plástico y medusas, que pueden ser parte de su dieta, lo cual causa bloqueos internos y generalmente provoca la muerte del organismo. De igual forma, pedazos de plástico más grandes también pueden dañar los

sistemas digestivos de animales como aves marinas y ballenas (Hasnat *et al.*, 2018).

Debido a la presencia de microplásticos en el ambiente marino (tal como la columna de agua) pueden ser ingeridos por la fauna marina, incluyendo el plancton, los crustáceos y los peces y les pueden causar problemas, tanto por su presencia física en el intestino como a causa de los contaminantes químicos que llevan. Un ejemplo de ello son los restos de plástico encontrados en el sistema digestivo de los peces, como en muestras de pez espada, atún rojo y atún blanco del mediterráneo donde se encontró un 18.2 % en microplásticos en total (Romeo *et al.*, 2015). Rummel *et al.* (2016) reportó que en una muestra de 260 peces del mar norte y báltico un 5.5 % contenía

plástico, de los cuales 40 % era polietileno. En moluscos bivalvos, se ha reportado presencia de microplásticos en el mejillón marrón del estuario de Santos en Sao Paulo, Brasil y en el mejillón común *Mytilus Edulis* (Li *et al.*, 2016).

Existe una gran probabilidad de que los microplásticos se transfieran a lo largo de las redes tróficas en el océano, debido a la ingesta de las presas contaminadas, por parte de depredadores (Hasnat *et al.*, 2018).

Ballenas y tortugas marinas se enferman y mueren al ingerir plásticos que pensaban que eran medusas y obstruyen sus conductos digestivos. Las aves marinas se quedan atrapadas en ellos y los peces retienen ese tipo de compuestos en su estómago (figura 10) (Hasnat *et al.*, 2018).

Aproximadamente el 25 % de todos los restos de plástico encontrados en las playas de Galápagos está habitado por al menos una planta o animal el cual estuvo adherido a su superficie (Keith *et al.*, 2019).

De igual manera, sus efectos dañinos son comprobados día a día por su liberación de ftalatos (bisfenoles) que son disruptores endócrinos en muchas especies marinas.

La demanda mundial de bisfenol A, en el año 2000 fue de 1 050 millones de kg y sus aplicaciones son muy amplias: industria automotriz y aeronáutica, alumbrado público y sistemas eléctricos, tuberías para conducción de agua potable, telecomunicaciones, equipos fotográficos, lentes ópticos y discos compactos, envasado de alimentos y aguas, producción de biberones, prótesis dentales y lentes intraoculares, así como resinas dentales (<https://www.springer.com/gp/book/9783319165097>).

Hasta la década de los 80-90s del siglo xx, estos compuestos no se consideraban tóxicos para el ambiente; sin embargo, tienen una muy amplia gama de efectos para los seres humanos ya que son disruptores endócrinos, afectan el aparato reproductor, bloquean las respuestas endócrinas y los estrógenos (figura 11).



Figura 10. Efecto físico de los plásticos sobre organismos marinos. Fuente: Hasnat *et al.*, (2018).

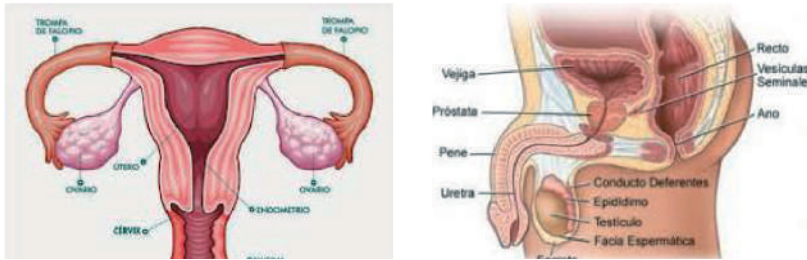


Figura 11. Aparato reproductor femenino (izquierda) y masculino (derecha). Fuente: Hee *et al.*, 2018.

Conclusiones y recomendaciones para tomadores de decisiones

- Más de 280 millones de toneladas de polímeros sintéticos, tienen como destino final los océanos.
- Además de los plásticos, los derrames de hidrocarburos ocasionan daños irreversibles a los océanos.
- También hay daños severos a la cadena trófica por la ingesta de micropartículas de plásticos.
- Las corrientes oceánicas tienen un papel importante en la distribución y acumulación de los plásticos.
- Concientizar los efectos de los desechos plásticos y como afectan a las especies marinas.
- Este tipo de contaminación afecta los recursos turísticos y económicos de las regiones impactadas.
- Nadie se hace responsable de las islas de basura porque están presentes en aguas internacionales.
- Las Islas de la basura afectan las pesquerías y la biodiversidad marina, lo cual muestra del poder que tiene el ser humano para afectar el medio ambiente.
- El hombre es el único responsable de un problema que poco o nada conoce, y está en sus manos resarcir las conse-

cuencias para no ver afectada su supervivencia y la de los organismos marinos.

- Más de 280 millones de toneladas de polímeros sintéticos, tienen como destino final los océanos.
- También hay daños severos a la cadena trófica por la ingesta de micropartículas de plásticos.

Para frenar la contaminación por plásticos en los océanos es esencial tomar medidas en los puntos de origen de los residuos. La reducción en el consumo de plástico es responsabilidad de todos, tanto de quienes fabrican el producto, quienes lo consumen y las administraciones que gestionan los residuos. En varios países del mundo ya se están tomando distintas medidas para atajar este problema global. Por ejemplo, varios países europeos (como Holanda, Alemania, Croacia o Letonia), Canadá y varios estados de los Estados Unidos y Australia, y recientemente en México entre otros, ya tienen implementado un sistema de retorno de envases que ha demostrado que permite la recuperación de casi el 100 %. También son varios los países, como Francia, Marruecos, Senegal, Ruanda, Mauritania o China que han implementado algún

tipo de prohibición del uso de determinadas bolsas de plástico. La Unión Europea cuenta con su propia Directiva sobre bolsas de plástico ligeras que implementó a finales de noviembre de 2016. En el caso de las microesferas de plástico empleadas en productos cosméticos, Estados Unidos y Australia ya tienen leyes que prohíben el uso de estos componentes y otros países como Canadá, Dinamarca, Suecia o Reino Unido están en el proceso.

- Eliminar el abandono de envases y garantizar su correcto reciclado mediante la implementación de sistemas de retorno.
- Prohibir el uso de microesferas de plástico.
- Fomentar medidas basadas en la economía circular, que apuesten por la reu-

tilización de la materia prima y nuevos materiales con menor impacto ambiental. A nivel individual también se pueden tomar medidas para reducir el consumo de plástico:

- Evitar las bolsas de plástico de un solo uso.
- Utilizar bolsas de tela, cestas o carros.
- Priorizar la compra de botellas y envases reutilizable y/o retornables.
- Comprobar los ingredientes de tus cosméticos y evitar los productos con microplásticos: polietileno (PE), polipropileno (PP), PET, PMMA y/o nylon.
- Rechazar envases y utensilios de un solo uso como vasos, cubiertos o popotes.
- Depositar los residuos plásticos en el contenedor adecuado.
- Evitar artículos con exceso de embalaje.
- Priorizar los productos a granel

Literatura citada

- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 1596-1605.
- BBC Mundo, 2017. 5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>
- Briggs, H., 2018. La preocupante velocidad a la que está creciendo la gran isla de basura del Pacífico que ya tiene tres veces el tamaño de Francia. BBC. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-43515386>
- Cole, M., P. Lindeque, C. Halsband, y T. S. Galloway, 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 2588-2597.
- da Costa, J.P., P.S.M. Santos, A.C. Duarte, y T. Rocha-Santos, 2016, (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects, *Science of The Total Environment*, Volumes 566-567: 15-26, ISSN 0048-9697.
- Derraik, J. G. B., 2002. The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842-85.
- Eriksen, M., L. C. M. Lebreton, H. S. Carson, M. Thiel, C. J. Moore, J. C. Borerro, F. Galgani, P. G. Ryan, y J. Reisser, 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *Plos One* 9(12).
- Fundación Plastindia, 2014. Report on Indian Plastics Industry 2013-2017. Plastindia Foundation.
- Greenpeace, 2019. Datos sobre la producción de plástico. Obtenido el 19 de junio de 2019. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Hasnat, A., y M.A. Rahman, 2018. A review paper on the hazardous effect of plastic debris on marine biodiversity with some possible remedies. *Asian J. Med. Biol. Res.*, 4 (3): 233-241; doi: 10.3329/ajmbr.v4i3.38461.

- Hee, H. S., S.W. Joon, y M., Jang. 2018. Chemicals Associated With Marine Plastic Debris and Microplastics: Analyses and Contaminant Levels, Chapter 9. Pp. 271-315. In: *Microplastic Contamination in Aquatic Environments. An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Edited by Eddy Y. Zeeng. Editorial Elsevier.
- Jambeck, J.R., G., Roland, Ch., Wilcox, R.T. Siegler M. Perryman, A. Andrady, R Narayan. y L.K. Lavender, 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768-771. <http://science.sciencemag.org/content/347/6223/768>.
- Keith, I., J. Howard, T. Hannam-Penfold, S. Green, J. Suárez, M. Vera M, 2019. Restos de plástico podrían introducir especies invasoras a la reserva marina de Galápagos. p. 35-38. En: *Informe Galápagos 2017-2018*. GC. Fairfax. VA.<https://www.galapagosreport.org/los-articulos/restos-de-plastico-podran-introducir-especies-invasoras-a-la-reserva-marina-de-galpagos#compartir-este-art%C3%ADculo>
- Kühn, S., E.L.B Rebolledo, y J.A. van Franeker, 2015. Deleterious effects of litter on marine life. p. 75-116. In: *Marine anthropogenic litter*. Springer International Publishing.
- Law, K.L., S. Morét-Ferguson, N.A. Maximenko, G. Proskurowski, E.E. Peacock, J. Hafner, y C.M. Reddy. 2010. Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, 329:1185–1188. doi:10.1126/science.1192321 pmid:20724586
- Leyva I., 2019. Coca-Cola revela por primera vez cuánto plástico produce cada año, y la cifra es impresionante. Obtenido el 20 de junio de 2019 de <https://es-us.finanzas.yahoo.com/noticias/coca-cola-revela-por-primera-vez-cuanto-plastico-produce-cada-ano-y-la-cifra-es-impresionante-203952388.html>
- Li, J., X. Qu, L. Su, W. Zhang, D. Yang, P. Kollandhasamy, D. Li, y H. Shi, 2016. Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environ. Pollut.*, 214, 177-184.
- Mollo, J., y L. Montaña, 2013. Disruptores Endocrinos en el Plástico (Bisfenol A y Ftalatos). *SCientífica – Facultad de Medicina UMSA* 1: 2-3.
- Ortiz, M., 2013. El impacto de los plásticos en el ambiente. La Jornada Ecológica. Obtenido el 17 de junio del 2019 de <https://www.jornada.com.mx/2013/05/27/eco-f.html>.
- Panda, A.K., R.K. Singh, y D.K. Mishra, 2010. Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products-A world prospective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 233–248.
- Plastics Europe, 2019. “Plastics - the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data”. Obtenido el 21 de junio de 2019 de file:///C:/Users/UNAM/Downloads/PLASTICS_THE_FACTS_2015_14122015.pdf
- Rojo-Nieto, E., y T. Montoto, 2017. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. <https://www.researchgate.net/publication/313011511>
- Romeo, T., B. Pietro, C. Pedà, P. Consoli, F. Andaloro, y M.C. Fossi, 2015. First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 95 (1): 358–361
- Rummel, C.D., M.G. Löder, N.F. Fricke, T. Lang, E.M. Griebeler, M. Janke, y G. Gerdt. 2016. Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 102: 134–141.
- Van Sebille, E., C. Wilcox, L. Lebreton, N. Maximenko, B. Hardesty, J. van Franeker, M. Eriksen, D. Siegel, F. Galgani, y K. Law, 2015, A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, 10: 124006

Páginas web

- <https://es.greenpeace.org/es/noticias/los-ocenos-del-mundo-estan-llenos-de-plasticos-dia-mundialdelosocenos/>
- <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-ocenos-y-que-sucede-entonces/>
- <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/reportajes/mares-limpios-dos-anos-de-la-campana-lider-contra-la-contaminacion-por>
- <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/11700/retrieve>
- <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>
- <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/history.aspx>
- <https://www.plasticseurope.org/es/about-us/who-we-are>
- https://elpais.com/elpais/2014/12/10/ciencia/1418233815_012577.html
- <http://science.sciencemag.org/>
- <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/news/2016/Agosto/Greenpeace-advierte-del-creciente-riesgo-de-los-plasticos-en-el-pescado-y-marisco/>
- <https://www.sostenibilidad.com/agua/garbage-patches-islas-de-basura/>
- <https://www.pinterest.com.mx/pin/656470083160951025/>
- <https://www.pinterest.com.mx/pin/656470083160951025/>
- <https://www.expansion.com/nauta360/volvo-ocean-race/2018/05/21/5b028f5746163f9d1f8b456e.html>
- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00009-6>
- <https://www.britannica.com/biography/Aleksandr-P-Dianin>
- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00009-6>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/>
- <https://www.springer.com/gp/book/9783319165097>

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Análisis de vulnerabilidad y gestión de riesgo por inundación en áreas de cuencas

V. Escamilla-Rivera, U. Castro Campos y G. J. Villalobos Zapata

Resumen

Para favorecer acciones de control y prevención en herramientas de gestión de riesgo, los indicadores de vulnerabilidad han sido usados para investigar las características del impacto de las inundaciones sobre distintos aspectos físicos y sociales. En este estudio, los eventos de inundación son analizados con respecto a la vulnerabilidad socio-económica, percepción de riesgo y riesgo ambiental en escalas de la cuenca Usumacinta. Se evaluó la vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo en viviendas que presentan mayor amenaza y afectaciones por inundación. Luego, se

elaboró indicadores de vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo con relación a las afectaciones registradas entre los años 1992-2011. Por último, se evaluó el riesgo ambiental a partir de las tendencias de índices de precipitación asociados a eventos extremos. De acuerdo a los resultados obtenidos, la frecuencia e intensidad de la precipitación presentan tendencias positivas hacia las partes altas de la cuenca, lo que podría contribuir el aumento de la frecuencia de las inundaciones en planicies aluviales. Los eventos de inundación analizados involucran escurrimientos fluviales progresivos hacia las planicies más bajas, con afectaciones ordinarias al sector agropecuario e infraestructura carretera y viviendas. Las zonas de baja vulnerabilidad se hallan asociadas con áreas de desarrollo urbano, ya que estas concentran gran parte de servicios públicos, baja tasa de desempleo e independencia al sector ganadero. Sin embargo, ello no impide que también se encuentren amenazados por situaciones de riesgo debido a su ubicación con respecto al río.

Palabras clave: Campeche, cuencas, gestión de riesgo, inundación, vulnerabilidad.

Introducción

En cuencas tropicales, los cambios en las frecuencias o intensidades del clima y de los eventos climáticos tiene impacto en el desarrollo social, económico y en el medio ambiente (Niyongabire *et al.*, 2016). Las inundaciones son un peligro climático producido por eventos extremos de precipitación en un corto período de tiempo (Mohamed y El-Raey, 2019) que afectan a un área limitada y ocurren cuando el agua fluye a una región más rápido de lo que puede ser absorbido por el suelo (Moawad *et al.*, 2016; Zelenáková *et al.*, 2018).

En el sureste de México los cambios del clima se están revelando en incrementos de intensidad y número de los eventos extremos del clima. Algunas décadas atrás los eventos extremos en las precipitaciones eran del orden de 200 mm por día, a partir del año de 1977 se registraron lluvias de 300 mm por día y a finales de octubre del 2007 ocurrieron fuertes lluvias entre 300 y 400 mm/día (Gamma *et al.*, 2010; López,

2009), mostrando que los eventos extremos son más fuertes y frecuentes.

La cuenca Usumacinta, localizado en el sureste de México, concentra el 33 % de los escurrimientos de los ríos de México (CONAGUA, 2017), y convierten a este hidrosistema ecológico en el reservorio de más alta biodiversidad. La principal vertiente de esta cuenca –hacia la porción sureste de la Sierra Madre de Chiapas– es una zona de lluvia muy abundante superior a los 3 500 mm/año y presenta un escurrimiento natural medio superficial total de 141,128 hm³/s (CONAGUA, 2014). La mayor parte de los recursos hídricos se originan por la precipitación. Cabe mencionar que la región del sureste mexicano tiene una disponibilidad siete veces más que el resto del país (Sánchez, 2010).

El análisis de vulnerabilidad y la gestión de riesgo son las principales estrategias para estudiar el impacto de las inundaciones a través de escalas de cuencas, ya que permite

la identificación de áreas y recursos naturales en riesgo (Cotler, 2015; Vera Rodríguez y Albarracín, 2017; Verwey *et al.*, 2017), así como para minimizar los impactos negativos (FAO, 2008).

En México, varios estudios se han realizado sobre vulnerabilidad ante inundaciones en cuencas (Perevochtchikova y De la Torre, 2007; Arellano, 2014; Hernández *et al.*, 2017), principalmente relacionados con el sector agrícola (Hernández *et al.*, 2014; Ortiz *et al.*, 2016 y 2018), indicadores socioeconómicos (Escamilla *et al.*, 2014; Ortiz *et al.*, 2018) y cambio climático (Seingier *et al.*, 2010; Yáñez-Arancibia y Day, 2010; Vera, *et al.*, 2011; Magaña, 2013). Sin embargo, los estudios sobre el análisis espacial de vulnerabilidad ante inundaciones a diferentes escalas son escasos debido a vacíos de información, y además se asume un incremento de las inundaciones y su magnitud debido al aumento en las tendencias de precipitaciones (Wagner *et al.*, 2016).

Algunos autores consideran que para analizar la vulnerabilidad y gestión de riesgo a escalas de cuencas se debe considerar la longitud de costa, número de bahías y lagunas, proporción de la planicie y la frecuencia de los eventos meteorológicos (Seingier *et al.*, 2010). Por otro lado, se debe analizar las características sociodemográficas de la población como paso previo para

determinar el grado de exposición ante las amenazas de eventos meteorológicos (Cotler, 2015).

En estudios a nivel de subcuencas se han priorizado los análisis de inundación provocado por huracanes (Palacio, 2004), con énfasis en la capacidad del paisaje para absorber o retroalimentar los efectos destructivos de los huracanes en tierra e identificar grados de exposición a los efectos negativos de estos fenómenos meteorológicos. Con base en esto, se ha considerado el uso de índices de vulnerabilidad que contenga características demográficas, de vivienda, de salud y económicas para determinar el grado de resiliencia de las áreas afectadas (González, 2010).

El análisis de vulnerabilidad y riesgo desarrollado en este estudio da la posibilidad de entender las tendencias al riesgo de inundación a escalas, lo cual significa una información altamente valorable para el manejo de la cuenca Usumacinta, la adaptabilidad de los asentamientos humanos y la conservación de las Áreas Naturales Protegidas que contiene la cuenca. Los resultados pueden ayudar en la gestión del riesgo por inundación en la cuenca y subcuencas del Usumacinta, así como dar soporte a las acciones que se realicen de protección por inundación, y se presenta conocimiento para investigación en el campo de la mitigación del riesgo.

Descripción de los sitios

El área de estudio consiste en el área de la cuenca del río Usumacinta en el territorio mexicano. La cuenca tiene un área total de 41 180 km² y un rango de altitud desde cero a 2 600 msnm (figura 1). En la cuenca

Usumacinta se analizó el riesgo ambiental debido a que es una de las regiones con más altos niveles de precipitación del país y una de las más altas en el mundo, promediando 2 143 mm por año (Hudson *et al.*, 2005),

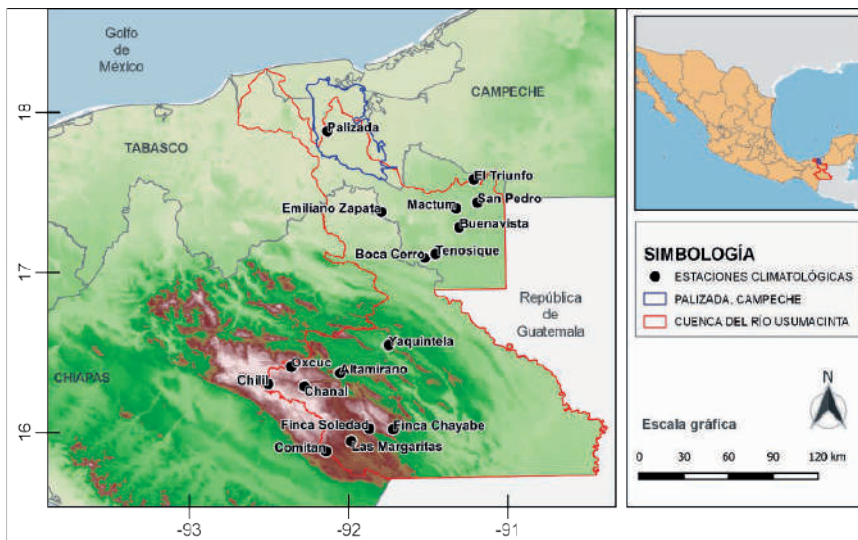


Figura 1. Cuenca del río Usumacinta y municipio Palizada.

y presenta un escurrimiento natural medio superficial total de 141 128 hm³/s (CONAGUA, 2014).

La cuenca Usumacinta puede ser dividida en tres partes basado en su fisiografía e hidrografía: región alta (150-2 600 msnm), región plana (50-150 msnm) y región costera (0-50 msnm). La mayoría del área tuvo una cobertura de bosque tropical y vegetación hidrófila, y está dominado por la región costera (Challenger, 1998), que constituye un mayor riesgo de inundación a lluvias intensas (Sosa-Ferreira, 2010). Se analizó la vulnerabilidad socioeconómica

y gestión de riesgo en la subcuenca del río Palizada dado que este río es la principal vertiente de la cuenca Usumacinta (Garrido *et al.*, 2010) y se encuentra en la región de costa. La subcuenca pertenece al Área Natural Protegida (ANP) Laguna de Términos y la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla. Sin embargo, la subcuenca tiene históricamente un patrón de limpieza de vegetación nativa manejado por la ganadería y agricultura extensiva, siendo el patrón de uso de suelo actual (Hernández *et al.*, 2017).

Material y métodos

Análisis de la vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo

La escala en el análisis de la vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo fue a nivel de subcuenca. La subcuenca del río Palizada se delimitó con base en el Modelo Digital de Elevación (MDE) en resolución 30 x 30 m (INEGI, 2010) a través del software ArcGis versión 10.1 y la extensión Hec-Geo HMS. Se obtuvo una superficie total de la subcuenca de 1 011 121 km², repartidas en nueve microcuencas. Sin embargo, la delimitación final de la subcuenca tiene una extensión total de 401 506 km² con ocho microcuencas (figura 2) debido a

que se consideró las zonas de mayor inundación registrados por el Centro Estatal de Emergencias de Campeche (CENECAM, 2012) y la ubicación de las localidades en la subcuenca. Adicionalmente, la subcuenca se dividió en dos zonas (A y B) debido a que poseen características físicas, biológicas y antrópicas contrastantes (tabla 1, figura 2).

Variables y criterios de la vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo

Para la estimación de la vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo se aplicaron encuestas a viviendas particula-

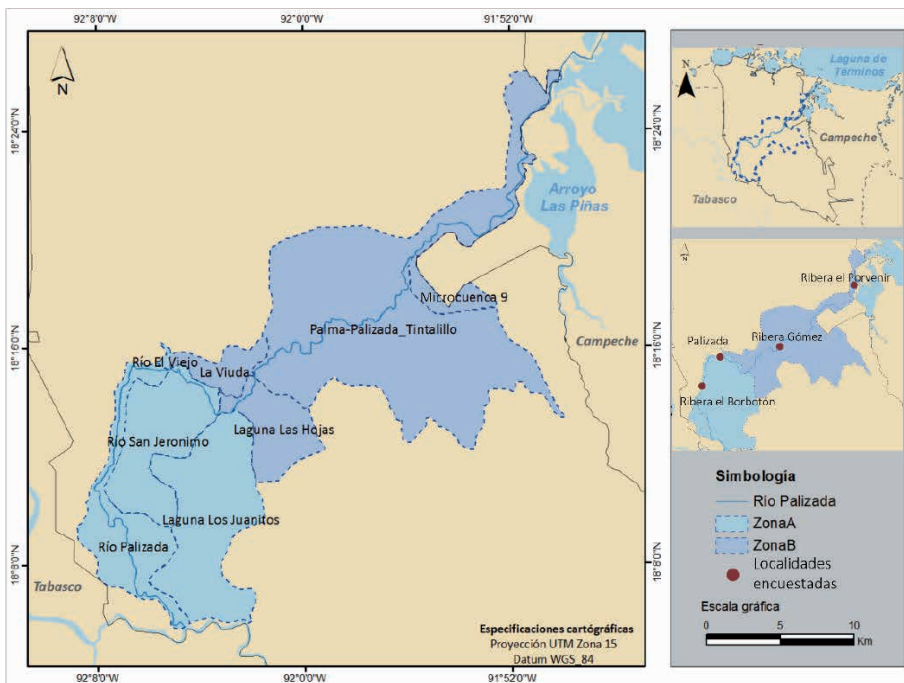


Figura 2. Delimitación de la subcuenca y microcuencas del río Palizada y localidades de muestreo.

res habitadas en localidades que recibieron mayor afectación en sus infraestructuras (educativa, salud, hidráulica, vivienda y carretera) debido a inundación con base a los registros del CENECAM (2012).

Con base al modelo de elevación de terreno (INEGI, 2013), en la localidad de Palizada (zona A) se seleccionó únicamente una parte del universo de estudio debido a que representa las manzanas que primeramente son afectadas por el desbordamiento del río. En las localidades Ribera El Borbotón, Ribera El Porvenir y Ribera Gómez se tomó la totalidad de viviendas particulares

habitadas con base al Anuario Estadístico del Estado de Campeche (INEGI, 2012) debido a que estas no poseen una estructura de manzanas en comparación con la cabecera municipal de Palizada.

Se obtuvo un total de 124 viviendas a encuestar (tabla 2). Durante la realización de trabajo de campo se realizaron 114 encuestas, 10 menos con respecto al total que se había determinado, ya que en la localidad de Ribera Borbotón se encontraron viviendas desocupadas a causa de la migración temporal, según refirieron vecinos.

Tabla 1. Características físicas, biológicas y antrópicas de la subcuenca del río Palizada (Campeche).

	Subcuenca	Vegetación	Tenencia de la tierra	Infraestructura vial	Zona inundable
Zona A	Río Palizada, Laguna Los Juanitos, Río San Jerónimo y Río El Viejo.	Pastizal cultivado, selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria y popal-tular.	Propiedad privada y ejidal.	Carretera, terracería y puentes.	Zona que primeramente se inunda.
Zona B	Arroyo La Viuda, Laguna Las Hojas, Subcuenca Palma-Palizada-Tintalillo y microcuenca 9.	Pastizal cultivado, selva baja subperennifolia y perennifolia, selva alta y mediana subperennifolia	Propiedad privada, ejidal y federal.	Carretera y mayor terracería.	Zona de mayor tiempo para enfrentar las inundaciones.

Fuente: CENECAM 2012, INEGI 2010, Escamilla *et al.*, 2014.

Tabla 2. Total de viviendas habitadas y encuestas por localidad.

Localidad	Total de viviendas habitadas	Total de encuestas
Palizada.	429	58
Ribera el Borbotón.	36	24
Ribera el Porvenir.	25	18
Ribera Gómez.	36	24

Indicadores de vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo

Los indicadores de vulnerabilidad socio-económica se elaboraron con base a la metodología del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED 2006) y fueron analizados a escala de la cuenca del río Usumacinta. Se estimó la vulnerabilidad social mediante los criterios de: a) características de la población, la cual estuvo determinada por el promedio de habitantes en cada vivienda, y b) nivel escolar, el cual influye de forma directa en la capacidad de la población para adoptar actitudes y conductas de prevención, así como, en la adquisición de conocimiento sobre la amenaza y su riesgo. El cálculo de la vulnerabilidad económica se utilizó: a) dependencia de factores externos de inversión económica, b) depreciación de salarios mínimos, c) cantidad y tipo de menajes en viviendas, d) material de construcción de la vivienda y, e) tipo de empleo. Por último, percepción de riesgo abarcó la necesidad de entender el grado de percepción que la población tiene ante inundaciones, así como su capacidad de respuesta durante y después del evento.

Para la selección e integración de dichos indicadores fue necesario establecer el alcance y el contexto histórico de las afectaciones por desbordamientos del río Palizada. Se realizó una búsqueda hemerográfica en la base de datos del Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (DESINVENTAR) durante los meses de julio y octubre del año de 1992 al 2011 debido a que se reportaron mayores intensidades de lluvias y volúmenes de caudal.

Riesgo ambiental

El riesgo ambiental se analizó en escala de la cuenca del río Usumacinta, y se estimó a partir de los indicadores asociados a la precipitación y sus tendencias (Karl *et al.*, 1999; Peterson, 2001; ETCCDI, 2009) los cuales son: precipitación total anual (PRCPTOT), precipitación total anual mayor al percentil 95 (R95p), conteo anual de días cuando la precipitación es mayor a 10mm ($\geq R10mm$) y días húmedos consecutivos (CWD). Se recolectaron datos de precipitación del año de 1970 al 2013 de la base de datos de Clima Computarizado (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional de México. Se seleccionaron las estaciones climatológicas con al menos 30 años de información (IPCC, 2007), ubicadas dentro de la cuenca Usumacinta, y de acuerdo a su consistencia anual y mensual (70 % de datos disponibles) del periodo mencionado. El análisis y control de calidad de datos se realizó conforme a las recomendaciones de la Guía para el Cálculo y Uso de Índices de Cambio Climático en México (Vázquez-Aguirre, 2010).

Los cálculos de las tendencias se realizaron conforme a la metodología propuesta por el Grupo de Expertos de Detección de Cambio Climático e Índices (Karl *et al.*, 1999; Peterson, 2001; ETCCDI, 2009) y con el uso del software RCLimDex. Este software calcula tendencias lineales con el método de mínimos cuadrados durante el periodo de precipitación estudiado. El análisis de las tendencias de la precipitación se analiza a partir de la tasa de cambio anual y el valor-p que refleja la significancia estadística.

Resultados y discusión

Análisis de la vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo

De las 114 viviendas analizadas se determinó que la vulnerabilidad social en la zona A (Ribera Borbotón y Palizada) tiene un 57 % de viviendas en un nivel de vulnerabilidad alta (41 viviendas), mientras que el 43 % restante (31 viviendas) tiene otros niveles de vulnerabilidad. La zona B (Ribera Gómez y Ribera El Porvenir) existe un 19 % de vulnerabilidad alta y 81 % de vulnerabilidad media, siendo la localidad Ribera Gómez la que presenta vulnerabilidad media y alta en viviendas. El nivel de vulnerabilidad social en la zona A fue de

2.3 habitantes, y en la zona B fue de 3.8 habitantes. La densidad poblacional fue de 13.82 habitantes por km², que con base a CENAPRED (2006), un promedio de 1 a 99 habitantes por km² corresponde a una baja densidad. En el nivel escolar se obtuvo un 44.7 % en la zona A y un 28 % en la zona B, reducidos a un nivel de primaria y secundaria, y se infiere que el nivel educativo no es una limitante en el conocimiento de su vulnerabilidad (figura 3).

La vulnerabilidad económica en la zona A fue de 63 % de viviendas que presenta una vulnerabilidad media, mientras que el 30.5 % tiene una vulnerabilidad alta. En la zona B correspondió un 62 % de vul-

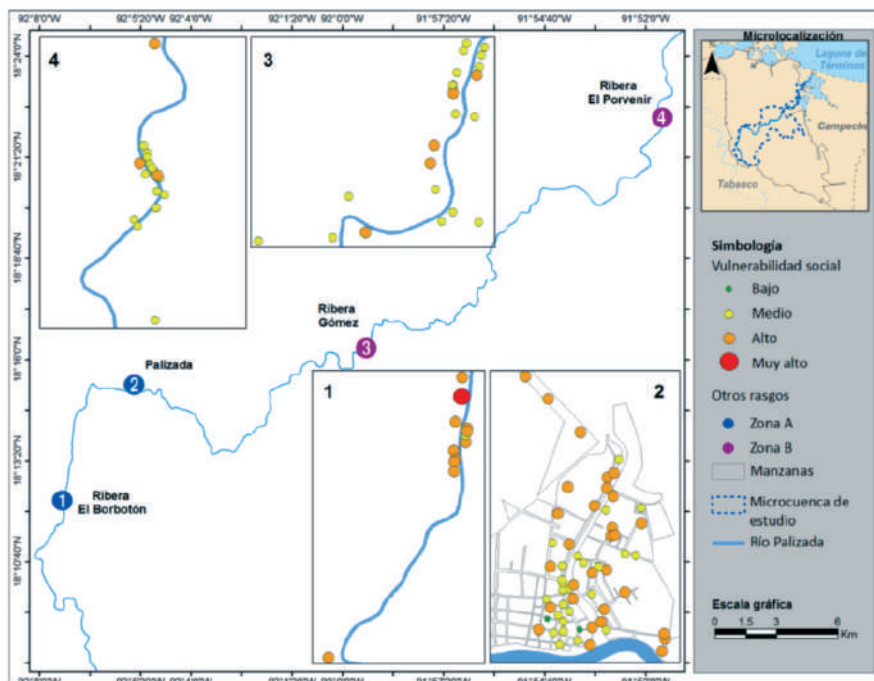


Figura 3. Grado de vulnerabilidad social en la subcuenca del río Palizada.

nerabilidad media. La vulnerabilidad alta obtuvo un 33.3 % seguido de 4.7 % de vulnerabilidad media contenidos en las 16 viviendas de la zona B (figura 4).

El nivel alto de vulnerabilidad económica se encuentra reflejado en el número de personas que aportan al gasto familiar, el cual corresponde en promedio a 2.3 personas por cada cuatro habitantes por vivienda. En época de inundación, el 63.8 % de la zona A presenta más pérdidas económicas, donde la localidad de Palizada es la más afectada con 39 viviendas, seguido de un 22 % de viviendas con gastos económicos por enfermedades. En la zona B, un 62 % de viviendas tuvo pérdidas económicas por empleo, siendo la Ribera Gómez la que presentó mayor afectación (17 viviendas).

La actividad predominante en la zona A es la ganadería (33 %) seguido de los jornales y agricultores con un 28 % y un 19 % respectivamente. En la zona B, el 43 % se dedica a la agricultura, el 29 % a la pesca y el 19 % a la ganadería. Estas actividades son los principales componentes de la vulnerabilidad debido a que la naturaleza forma parte de la estructura social, a través de la utilización de los recursos naturales para las actividades económicas, y las amenazas están entrelazadas con los sistemas humanos al afectar los activos y medios de vida de los habitantes.

La percepción de riesgo se enfocó en la identificación de medidas preventivas llevadas a cabo en las localidades y al tipo de información o preparación acerca de cómo

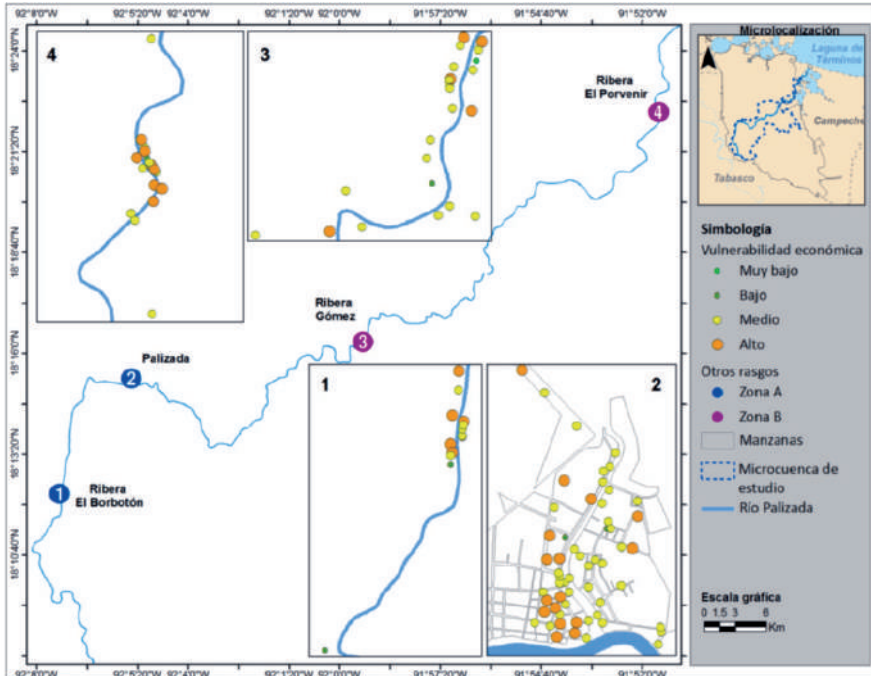


Figura 4. Grado de vulnerabilidad económica en la subcuenca del río Palizada.

actuar frente a una emergencia. Se obtuvo un nivel medio en la zona A (25%) y en la zona B un nivel alto (54.76%) (figura 5). Sin embargo, aún y con el nivel alcanzado, los habitantes encuestados aceptan el riesgo de vivir en una zona propensa a inundarse. Los habitantes tienen un reconocimiento pleno de un riesgo compartido y presente en la subcuenca, lo que significó que el 100% de las encuestas realizadas consideraron que el causante de las inundaciones es el propio río, el 90% de la población acepta que no desbordaría si no fuera por el azolvamiento de su cauce y el 97% consideró que el problema no ha sido solucionado debido a la ineficiencia de las autoridades.

La capacidad de organización de la población como medida preventiva ante una emergencia es poco representativa debido

a que obtuvieron un 75 % y un 90.5 % en las zonas A y B respectivamente, que no sabe acerca de programas preventivos, por lo que ante emergencias pasadas el 47.2 % de la zona A ha sido evacuada de sus viviendas, de este porcentaje un 55.8 % de los habitantes evacuados temporalmente y un 44.11 % evacuada de manera permanente; mientras que en la zona B se obtuvo un 85.71 % que no fue evacuada en inundaciones pasadas. Mientras tanto, en la zona A 78 % de los habitantes no están integrados a algún tipo de organización vecinal, mientras que la zona B es un 86 %. El 71 % de la zona A tiene conocimiento sobre los planes de emergencia de protección civil, y el 81 % en la zona B no conoce planes de emergencia, aspecto por el cual su respuesta ante una emergencia sería llevada

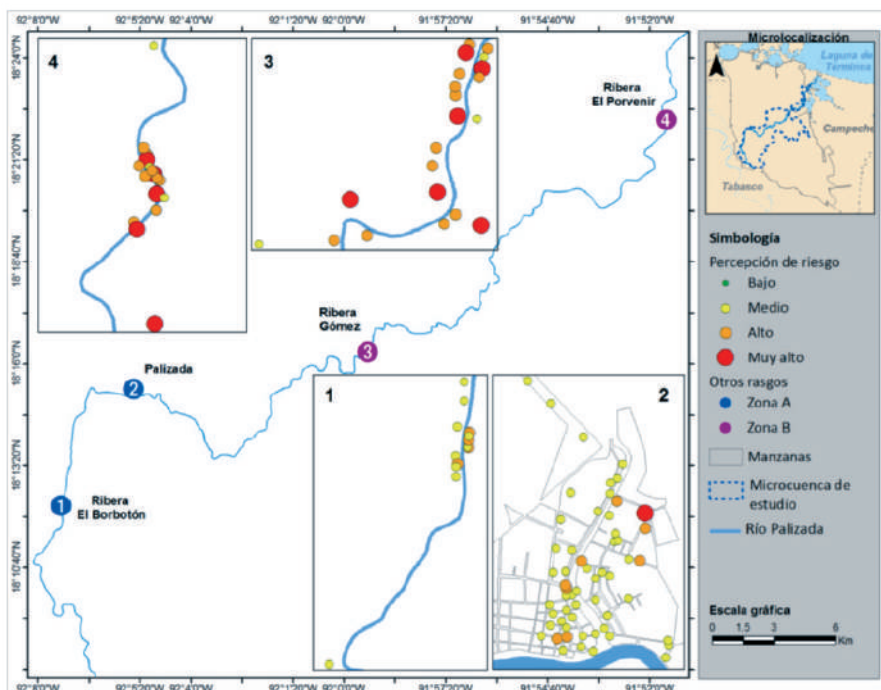


Figura 5. Grado de percepción de riesgo en la subcuenca del río Palizada.

a cabo como unidad familiar. Considerado los grados de vulnerabilidad establecido por la CENAPRED (2006), el resultado obtenido para la vulnerabilidad global en viviendas en la subcuenca correspondió a un nivel medio, en el cual se distribuye en un nivel medio en la zona A y un nivel alto en la zona B.

Indicadores de vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo

Se registraron un total de 11 eventos de desbordamiento del río Palizada con afectación en todas las localidades de Palizada entre los años de 1992 al 2011.. Además, se identificaron un total de 48 localidades afectadas durante dichos eventos, de las cuales 39 fueron afectadas en el 2010 y 2011 (CENECAM, 2012).

El caudal promedio anual entre 1992 y 2011 del río Palizada fue de 229.6 m³/s (figura 6). La mayor parte de los eventos registrados se relaciona con el mes de septiembre y octubre, meses de mayor caudal, excepto en julio del 2010 donde se registró un desbordamiento menor que duró cinco días. Los desbordamientos se asocian a una excedencia del caudal del río de 479.5 m³/s, lo que corresponde con lo reportado por Vega, *et al.*, (2018) los cuales mencionan que el río comienza a desbordarse a partir de los 465 m³/s y se extiende en un área de 66 km² en la parte baja y 1.65 km² en la parte media-alta de la subcuenca.

El índice de vulnerabilidad socio-económico varía entre 0.25 a 0.54 y corresponden a las localidades del Paraíso y Canales. De acuerdo a este índice, las localidades quedaron comprendidas en dos categorías “baja” y “media”. El 71 % de las localidades analizadas presenta una vulnerabilidad “baja”. Los indicadores que contribuyen a

eleva la vulnerabilidad socio-económica son la falta de acceso al agua entubada, carencia de sistemas de drenaje, desempleo, dependencia al sector ganadero y la dispersión poblacional.

El valor general obtenido en percepción de riesgo para la cabecera municipal de Palizada, que es la zona urbana, fue de 0.25 correspondiente a una percepción alta y baja vulnerabilidad. Sin embargo, en la subcuenca hay una alta capacidad de prevención y respuesta por parte de la Unidad de Protección Civil municipal. Bajo este contexto, la percepción del riesgo da una aproximación del impacto que ha causado las inundaciones (Olcina, 2005). Entonces, una mayor percepción del riesgo está influenciado por la ubicación de sus viviendas con respecto al río (Escamilla *et al.*, 2014) y a la carencia de infraestructura, servicios de vivienda y comunicación (Vergara *et al.*, 2011).

Análisis del riesgo ambiental

A manera de distinción entre las montañas y las planicies costeras de la cuenca Usamacinta, y de acuerdo al promedio anual de precipitación del periodo base (figura 1 y 6; tabla 3), el área de montañas presenta registros mínimos y máximos entre 743 a 3 183 mm, y el área de la costa los rangos varían entre 1 470 a 2 316 mm. Específicamente, en la estación Finca Chayabe ubicada en la parte alta de Chiapas se registran valores máximos anuales entre 2 706 y 3 815 mm, mientras que la estación Comitán registró valores menores entre 505 y 1 484 mm.

Con base en el tabla 3, la precipitación total anual está incrementando significativamente a una tasa entre 6.7 a 24 mm/año, y los eventos extremos arriba del percentil 95 están creciendo a una tasa de 6.8 y 15.4

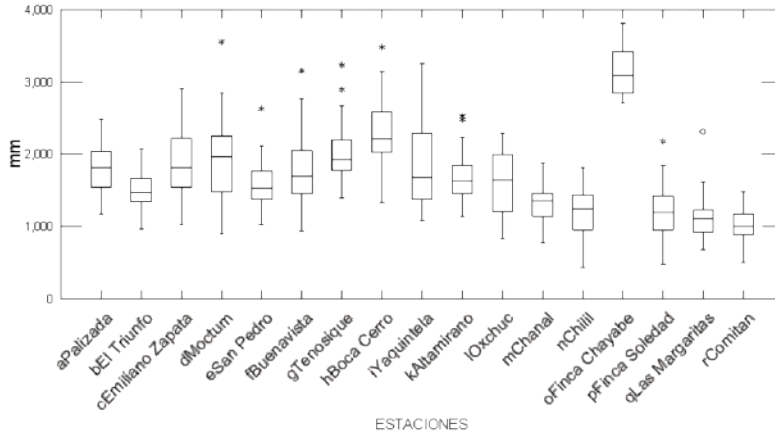


Figura 6. Distribución de la precipitación normal anual (1980-2011) según estación meteorológica.

Tabla 3. Estaciones meteorológicas y tendencias de precipitación total anual (PRCPTOT), precipitación total anual mayor al percentil 95 (R95p), conteo anual de días cuando la precipitación es mayor a 10mm ($\geq R10mm$) y días húmedos consecutivos (CWD).

Estaciones meteorológicas	PRCPTOT	R95p	$\geq R10mm$	CWD
<100 msnm				
Palizada	-4.106	5.672	-0.429*	0.014
El Triunfo	-9.323	2.235	-0.334	-0.099*
Emiliano Zapata	-20.702*	-0.923	-0.782*	0.003
Moctún	-5.19	6.235	-0.129	-0.081
San Pedro	4.29	6.835*	-0.027	0.038
Buenavista	-10.785*	5.157	-0.453*	-0.007
Tenosique	20.768*	16.03*	0.324*	0.022
Boca Cerro	4.261	3.724	0.039	-0.027
>600 msnm				
Yaquintela	24.023*	15.41*	0.707*	-0.06
Altamirano	5.228	1.889	0.083	0.014
Oxchuc	7.996	-1.748	0.208*	0.064
Chanal	-1.098	-0.229	-0.12	0.137
Chilil	11.556*	-1.418	0.514*	0.111
Finca Chayabe	-1.17	-1.188	0.036	-0.059
Finca Soledad	20.76*	9.378*	0.676*	0.156*
Las Margaritas	-3.145	-0.771	-0.077	-0.084
Comitán	6.769*	2.531	0.172	0.036

* Tendencias estadísticamente significativas

mm/año. Por otro lado, la frecuencia de los días que presentan lluvias mayores a 10 mm está incrementando a una tasa de entre 0.2 y 0.78 días/año. Los mayores cambios de acuerdo a las tendencias significativas se están dando en la región montañosa de la cuenca Usumacinta.

La precipitación total anual marca una tendencia de aumento hacia las partes montañosas de la cuenca Usumacinta lo que corresponde con lo reportado en CONAGUA (2014), el cual se menciona que en México la precipitación normal anual aumentó de 760 a 800 mm en los periodos de 1971-2000 y 2000-2013 respectivamente. Los resultados se comparan con lo reportado por García (2003), en la cual la vertien-

te de las montañas de Chiapas inclinadas hacia el golfo de México en altitudes entre 100 y 600 msnm se conforma una zona de abundantes lluvias anuales con valores mayores a 3,500 mm/año. Esta tendencia coincide con el aumento de la temperatura de la superficie del océano y de su relación potencial con una estación ciclónica más larga e intensa (Vera *et al.*, 2011, Goldenberg *et al.*, 2001). Los eventos de precipitación extrema se han incrementado durante la última mitad del siglo y la mayoría de estos eventos parecen ocurrir más frecuentemente durante la fase positiva de La Niña y El Niño al sureste de México (Peralta-Hernández *et al.*, 2009).

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Basado en estas observaciones, las siguientes recomendaciones pueden ayudar a los tomadores de decisión en mitigar el riesgo y la vulnerabilidad a inundaciones en áreas de cuencas:

- Fue posible obtener información histórica a través de revisiones hemerográficas. Sin embargo, es necesario un método de validación más robusto que permita establecer una base firme de análisis para un futuro estudio de vulnerabilidad socio-económica y que pueda ser aplicado a programas de ordenamiento ecológico de carácter local.
- Los indicadores asociados a la precipitación, pueden ser una herramienta para el estudio del comportamiento de las inundaciones. En cuencas compartidas entre dos o más países, es importante considerar la calidad y tipo de información, así como la continuidad de los datos de precipitación que se registran.
- La participación social es la base para la apropiación de los resultados producidos. De esta forma, la gestión de riesgo debe ser desarrollado y consensuado, así como debe de reflejar los intereses ambientales de la sociedad para garantizar la realización de sus actividades a mediano y largo plazo.
- Aunque las localidades no presenten altas vulnerabilidades, las características de la vivienda y las condiciones socioeconómicas es determinante en la resiliencia de los habitantes ante el riesgo de inundación.
- A pesar de la baja significancia en los indicadores asociados a las precipitaciones, sus resultados muestran un incremento en la intensidad y frecuencia de las lluvias y su impacto en la dinámica hídrica de la cuenca y subcuencas.

- Los habitantes de la subcuenca reconocen el impacto de las inundaciones, sin embargo, no están dispuestos en reubicar sus viviendas. Entonces, el análisis de percepción de riesgo se debe considerar enfoques integrales a fin de fundamentar políticas, programas y actividades dirigidos a evaluar y mitigar los desastres causados por las inundaciones.
- Los análisis de vulnerabilidad y riesgo ambiental deben considerar los impactos por el cambio climático, la deforestación y la alteración de la dinámica hídrica (El Niño, La Niña) dado el incremento de eventos de precipitación extrema y por consecuencia el incremento de inundaciones.

Conclusiones

El presente estudio fue diseñado con el objetivo de identificar la vulnerabilidad socio-económica y percepción de riesgo, así como el riesgo ambiental a escalas, para dar soporte a las acciones que se realicen en la mitigación del riesgo de la cuenca del Usumacinta. Dado el enfoque de este estudio, es claro que las inundaciones es un riesgo debido a las condiciones físicas y biológicas que lo condicionan. Por un lado, los indicadores del riesgo ambiental demostró que el aumento en las tendencias de precipitaciones es debido al incremento de las inundaciones en cualquier escala de la cuenca del Usumacinta. Por otro lado, los habitantes no consideran la reubicación de sus viviendas ya que implica costos económicos elevados aun analizando que algunas localidades pueden enfrentar económicamente el riesgo. Es decir, aún cuando se determina que las inundaciones aumentan tanto en intensidad como en frecuencia, los habitantes asumen que obtendrán los apoyos de instituciones financieras (Fondo de

Desastres Naturales y Organizaciones No Gubernamentales) para enfrentar el riesgo, lo que sugiere que la compensación (trade-offs) puede ser significativa.

En este contexto, aún no se ha comprendido el impacto social, económico y ambiental por inundación, ya que se sigue considerando a la prevención como un costo y no como una inversión y se espera que las instituciones financieras contribuyan para reponer las pérdidas en caso de desastre. Además, las labores del organismo encargado de la seguridad y protección civil son totalmente reactivas, ya que únicamente actúa en situaciones de emergencia y no se tienen planes de mitigación y reducción de la vulnerabilidad y del riesgo. Por lo tanto, es necesario reflexionar sobre los impactos de inundación con base en las características físicas, biológicas y de gobernanza en la cuenca debido a que se sigue cuestionando si el problema principal son las inundaciones o es la actual forma de gestión del territorio.

Literatura citada

- Arellano-Monterrosas, J.L.L., 2014. Integrated Water Resources Management To Reduce the Vulnerability To Land Sliding and Flooding in the Sierra Madre of Chiapas Watersheds', *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1): 23–37. doi: 10.5154/r.inagbi.2010.05.006.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2006. Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Fenómenos Hidrometeorológicos. México.
- Centro Estatal de Emergencias de Campeche (CENECAM), 2012. Resumen de contingencia del Centro Estatal de Emergencias del municipio de Palizada. Campeche, México, 32 p.
- Challenger, A., 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Edited by CONABIO. Mexico.
- CONAGUA, 2014. Estadísticas del agua en México. SEMARNAT-CNA. Mexico.
- CONAGUA, 2017. Estadísticas del agua en México. CONAGUA. Mexico.
- Cotler, A., 2015. Incidencia del enfoque de cuencas en las políticas públicas de México. p. 308. En: Burgos, A., Bocco, G., Sosa Ramírez, J. (ed.) Dimensiones sociales en el manejo de cuencas. UNAM- CIGA. Mexico.
- Escamilla Rivera, V. I., J.A. González Iturbide Ahumada, y G.J. Villalobos Zapata, 2014. Desarrollo de estrategias para la planeación ambiental y gestión de riesgo en la microcuenca del río Palizada , Campeche. *Sociedad & Ambiente*, 1(5): 73–91.
- ETCCDI/CRD, 2009. Climate Change Indices, Definitions of the 27 core indices. http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml
- FAO, 2008. Disaster risk management systems analysis: A guide book. Roma.
- Gama, L., E.M. Ordoñez, C. Villanueva-García C., M.A. Ortiz-Pérez, H.D. López, R.C. Torres, y M.E.M. Valadez, 2010. Floods in Tabasco Mexico: history and perspectives. *Transactions on Ecology and the Environment*, 113: , 1743-3541.
- García, E., 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Investigaciones Geográficas, Boletín No. 50, Instituto de Geografía. UNAM, México.
- Garrido, A., D.J.L. Pérez, y C. Enríquez, 2010. Delimitación de zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México', in H., C. (ed.) Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. 1st edn. Mexico: Instituto Nacional de Ecología.
- Goldenberg, S.B., W. Christopher, A.M. Landsea, M. Mestas-Nuñez, y M. William Gray, 2001. The Recent Increase in Atlantic Hurricane Activity: Causes and Implications. *Science*, 293(5529): 474-479. DOI:10.1126/science.1060040
- González, D., 2010. Valoración y gestión del riesgo por inundaciones en municipios costeros: Una aproximación con base en indicadores. p. 591-606. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. Villalobos Zapata (ed.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche CetyS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.
- Hernández Ramírez, C. *et al.*, 2014. Modelos de Vulnerabilidad Agrícola ante los efectos del cambio climático Models of Agricultural Vulnerability to the effects of climate change', *Revista CIMEXUS*, IX(2): 31–48.
- Hernández, A., F. López, y M. Bonilla, 2017. Análisis preliminar de la dinámica de uso del suelos asociada al cultivo palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en México', *Agrociencia*, 52: 875-893.
- Hudson, P. F. *et al.*, 2005. Rivers of Mexico. p. 1030–1084. In: Rivers of North America, doi.org/10.1016/B978-012088253-3/50026-2.
- INEGI, 2010. Censo de Población y Vivienda, México.
- INEGI, 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Mexico: INEGI. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoElevaciones.aspx>.
- IPCC, 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo, Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Karl, T. R., N. Nicholls, y A. Ghazi, 1999. Workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42: 3-7.

- López, L., D. 2009. Spatyal analysis and modeling to assess and map current vulnerability to extreme weather events in the Grijalva – Usumacinta watershed, México. *Earth and Enviromental Science. Nonparametric tests against trend, Econometrica*, 13: 245–259.
- Magaña R., 2013. Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático. 1st edn. Edited by INE-PNUD. Mexico.
- Moawad, M., A. A. Badawy, A. Omar, y B.Mamtimin, B. (2016). Flash floods in the Sahara: a case study for the 28 January 2013 flood in Qena, Egypt', *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. Taylor & Francis, 7(1), pp. 215–236. doi:10.1080/19475705.2014.885467.
- Mohamed, S. A., y M.E. El-Raey, 2019. Vulnerability assessment for flash floods using GIS spatial modeling and remotely sensed data in El-Arish City, North Sinai, Egypt. *Natural Hazards*. Springer Netherlands, (0123456789). doi: 10.1007/s11069-019-03571-x.
- Niyongabire, E., *et al.*, 2016. Use of Digital Elevation Model in a Gis for Flood Susceptibility Mapping: Case of Bujumbura City', 6 th International Conference on Cartography and GIS, (February 2014), pp. 13–17.
- Olcina, 2005. La prensa como fuente para y estudio de los tiempos y climas. *Revista de historia moderna*, 23: 185–232.
- Ortiz Paniagua, C. F., A.M. Ortega Gómez, y J. Infante Jiménez, 2016. Agricultura, Vulnerabilidad Y Riesgos Ante El Cambio Climático. p. 1-21. En: La Región Tierra Caliente, Michoacán. 21o. Encuentro Nacional sobre Desarrollo en México.
- Ortiz-Paniagua, C. F., A.I. Zamora-Torres, y J. Bonales-Valencia, 2018. Vulnerabilidad económica municipal del impacto agrícola ante condiciones de cambio climático en Michoacán. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, XXXIII(82): 21.
- Palacio, A., 2004. Riesgos naturales y susceptibilidad del terreno ante la ocurrencia de huracanes, Aplicación de SIG en la costa baja cumulativa del suroeste de Campeche. p. 287-306. En: Rivera Arriaga, E., G. J. Villalobos, I Azuz-Adeath y F. R. May (eds.) El MAnejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654 p.
- Perevochtchikova, M., y J.L.L. De la Torre, 2007. Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México', *Journal of Latin American Geography*, 9(2): 76–98.
- Peterson, T. C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. y Plummer, N., 2001. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detección and Related Rapporturs 1998-2001. WMO CCI/CLIVAR Working Group on Climate Change Detection. 143 p.
- Sánchez, O., 2010. Elementos oceánicos que impactan la hidrología costera. In: Rivera-Arriaga, E. *et al.* (eds) Cambio climático en México un Enfoque Costero-Marino. México. 944 p.
- Seingier, G. *et al.*, 2010. Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. p. 669-688. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. Villallbos Zapata (ed.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.
- Sosa-Ferreira, A. P., 2010. Condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad de la península de Yucatán. p. 623-638. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. Villallbos Zapata (ed.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.
- Vázquez-Aguirre, J. L., 2010. Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., 88 p.
- Vega-Serratos, B. E., R. Domínguez-Mora, y G. Posada-Vanegas, 2018. Evaluación estacional del riesgo por inundación en zonas agrícolas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 09(3): 92–127. doi: 10.24850/j-tyca-2018-03-04.
- Vera, A., Bernal, A., u A. Rodriguez, 2011. Indicadores de cambio climatico asociados con la precipitación en el RH Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta. Mexico.
- Vera Rodríguez, J. M., y A.P. Albarracin Calderón, 2017. Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas', *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2): 109–136. doi: 10.18359/rcin.2309.

- Vergara T., MC., E. Ellis, A. Cruz A., S., L. C. Alarcón, y U. Galván del Moral, 2011. La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y Cultura*, 36: 45-69
- Verwey, A., Y. Kerblat, y C. Brendan, 2017. Flood Risk Management at River Basin Scale : The need to adopt a proactive approach. 1st edn. Edited by World Bank. Washington, DC.
- Wagner, P. D. *et al.*, 2016. Dynamic integration of land use changes in a hydrologic assessment of a rapidly developing Indian catchment. *Science of the Total Environment*, 539: 153-164. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.148.
- Yáñez-Arancibia, A., y J.W. Day, J2010. La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero. p. 235-246. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. Villalbos Zapata (ed.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.
- Zeleňáková, M., *et al.*, 2018. Flood vulnerability assessment of Bodva cross-border river basin. *Acta Montanistica Slovaca*, 23(1):53–61.

Impacto socioambiental de la erosión costera. El caso de Chiapas

V. Castro-Castro

Resumen

La costa de Chiapas se extiende a lo largo de 253.9 km, desde la frontera con Guatemala hasta el límite con el estado de Oaxaca. Cambios importantes se han identificado a lo largo de la línea de costa, mismos que han dejado un amplio abanico de daños ambientales, sociales y económicos. El cambio más importante identificado ha sido el retroceso de la línea de costa como consecuencia del proceso erosivo de las playas; así, se han identificado seis sitios con erosión extrema, destacando por su magnitud y daños el municipio de Tapachula, Chiapas, donde se localizan cinco de los seis sitios. El incremento en los procesos erosivos, en cerca de 40 años, se debe principalmente al incremento en frecuencia y magnitud de eventos hidrometeorológicos como tormentas, huracanes y mar de fondo, en el caso de Tapachula, se suma la deficiente planeación y construcción de espigones. A la fecha, las consecuencias registradas por procesos erosivos son destrucción parcial y total de playas, casas, co-

mercios, hoteles e infraestructura en general, lo que consecuentemente ha implicado una gran pérdida de belleza escénica; así como un intenso impacto ambiental, un fuerte impacto económico (daños y pérdida total de infraestructura, pérdidas de playas y construcción de obras de “protección”); además de contribuir en preocupantes impactos sociales (migración de pescadores al norte del país, pauperización de la calidad de vida en la comunidad de Puerto Madero). Se sugiere fuertemente que la conservación y administración de las costas chiapanecas y de México esté a cargo de personal altamente capacitado, que el personal oficial de primera gestión de playas (Ayuntamientos costeros) se capacite debidamente; así también, se sugiere una nueva perspectiva en la anatomía y zonación de las playas para su adecuada conservación y administración, además de una real y efectiva vinculación entre las instituciones de gobierno, la academia y la sociedad. Lo anterior permitirá contribuir ampliamente a fortalecer debilidades, minimizar posibles peligros y afectaciones futuras que puedan poner en riesgo los recursos naturales, el patrimonio social y el desarrollo económico de la región y el estado de Chiapas.

Palabras claves: erosión costera, riesgo costero, litoral del Pacífico, costa mesoamericana, Chiapas.

Introducción

La erosión de las playas se ha convertido en un serio y grave problema con alcance internacional, tanto por las afectaciones ambientales, así como sus afectaciones sociales y económicas. La estimación más reciente a nivel mundial indicó que el 24 % de las playas arenosas presentaron procesos de erosión persistente mayor a los 0.5 m/año durante el periodo 1984-2016 (Luijendijk *et al.*, 2018). A partir del análisis realizado por Luijendijk *et al.*, (2018), se tiene claro que el balance general, a nivel mundial, es de acreción de playas (+1.47 m/año); sin embargo, pueden observarse diversos puntos de erosión intensa, entre la que se incluye la zona del golfo de Tehuantepec, México, área donde se localiza el estado de Chiapas (figura 1).

Para la zona del golfo de Tehuantepec la estimación promedio de erosión fue de entre 5 a 10 m/año (Luijendijk *et al.*, 2018),

estimación coincidente con lo calculado por Castro-Castro *et al.* (2017) para varios sitios del municipio de Tapachula, Chiapas, con tasa de erosión promedio de entre 9.22 a 10.97 m/año entre el periodo de 1974 al 2010.

La importancia en el análisis de la erosión de playas, estriba en las diferentes afectaciones que se ocasionan como consecuencia de este proceso. En el contexto del capital natural, se ha documentado que con la erosión de las playas se incrementan los minerales hidrofílicos, lo que amenaza la biodiversidad bentónica, las microalgas planctónicas y los copépodos, además de reducir la productividad de las aguas costeras, ocasiona deforestación de las playas e incrementa la turbidez de las aguas marinas (Shadrin, 2013); además de afectar los servicios ecológicos que las playas proveen (Azuz-Adeath, 2004).

Desde el contexto socioeconómico, la erosión costera resulta un serio problema cuando el proceso genera desastres por daños a la infraestructura costera (casas, palapas, hoteles entre otros; figura 2), además de afectar las actividades lúdicas o recrea-

tivas, incluso provocar directa o indirectamente la pérdida de vidas (Azuz-Adeath, 2004). Lo anterior repercute indiscutiblemente en trastornos del bienestar y calidad de vida de las comunidades costeras.

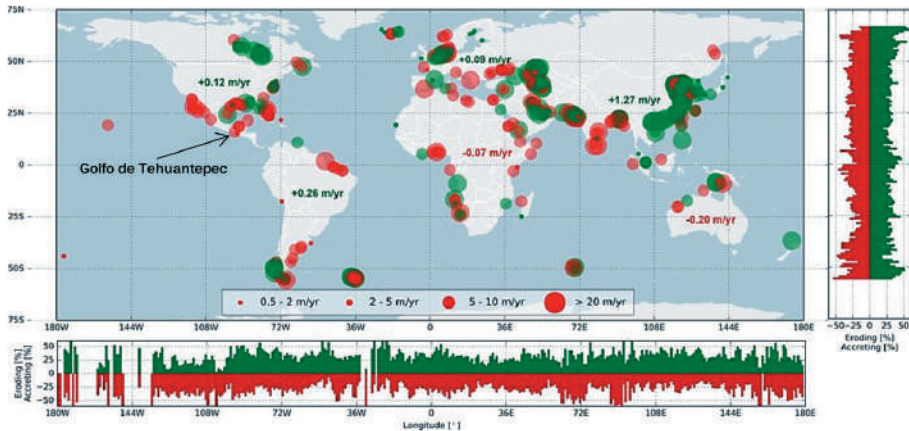


Figura 1. Puntos intensos globales de erosión y acreción de playas; los círculos rojos (verdes) indican erosión (acreación) para las cuatro clasificaciones dinámicas relevantes de la línea de costa (ver clasificación en la imagen). Los gráficos de barras a la derecha y en la parte inferior presentan la ocurrencia relativa de erosión (acreación) de las líneas de arena por latitud y longitud de grado, respectivamente. Los números presentados en la parcela principal representan la tasa de cambio promedio para todas las costas arenosas por continente. Imagen tomada de Luijendijk *et al.* (2018).



Figura 2. Daños a la infraestructura costera en la comunidad de Puerto Madero, Tapachula, Chiapas.

Lo que se sabe

De acuerdo a CEPAL (2018), las mayores amenazas a las que se encuentran expuestas las zonas costeras y zonas bajas del planeta son las inundaciones y la erosión, principalmente por consecuencia del cambio climático y en particular por el incremento en el nivel medio del mar.

En cuanto a la erosión, de acuerdo a los resultados presentados por Luijendijk *et al.* (2018), se puede observar (figura 1) que en México las áreas de mayor erosión se localizan en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo en el golfo de México y mar Caribe, mientras que por el lado del océano Pacífico, los procesos erosivos se pueden observar en Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Oaxaca y Chiapas; así, sólo en tres (17.6 %) de 17 estados costeros de México no se aprecian problemas de erosión (Colima, Michoacán y Guerrero), mientras que en el resto de los






estados, la erosión se ha registrado a una tasa promedio de entre 5-10 m/año. Cabe destacar que únicamente en el estado de Tamaulipas, los autores reportaron procesos de progradación.

En México la erosión costera, si bien no se ha ubicado a nivel de un problema de seguridad nacional, si ha logrado destacar de forma tal que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) presentó la primera información sobre erosión costera de México en 2012 en el documento “Diccionario de Datos del Inventario Nacional de Fenómenos Geológicos escala 1:250000”, información que se ha actualizado en el documento “Diccionario de datos del fenómeno erosión costera” (INEGI, 2016). En la actualidad, el INEGI mantiene una página web donde muestra (figura 3) distintos puntos de la geografía nacional con distintos grados de erosión.



Figura 3. Puntos de registro de erosión costera en México por el INEGI. Imagen tomada de: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jI0LjI0ODU4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmM0NjF8YzExMXNlcnZpY2lvcw==>

El INEGI (2016) distingue cinco niveles de erosión:

- a)  Erosión costera-Desgaste Ninguno o Estable (valor < 250 m²/año),
- b)  Erosión costera-Desgaste Perceptible (250 m²/año ≤ valor ≤ 500 m²/año),
- c)  Erosión costera-Desgaste Apreciable (500 m²/año < valor ≤ 2500 m²/año),
- d)  Erosión costera-Desgaste Aguda (2500 m²/año < valor ≤ 5000 m²/año),
- y
- e)  Erosión costera-Desgaste Intensa (Valor > 5000 m²/año).

Con estos niveles establecidos, de acuerdo a la plataforma web del INEGI (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjI0LjI0ODU4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmM0NjF8YzExMXNlcnZpY2lvcw==>), todos los estados costeros del golfo de México y mar Caribe presentan al menos un punto de erosión intensa, mientras que en el lado del océano Pacífico, los estados costeros que presentan al menos un punto de erosión intensa son Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Chiapas (tabla 1).

En Chiapas, de acuerdo al portal del INEGI (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjE3LjM1OTA1LGxvbjotOTkuOD->

Tabla 1. Sitios de erosión costera intensa en costas del Pacífico mexicano. Cuadro construido con información de: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjI0LjI0ODU4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmM0NjF8YzExMXNlcnZpY2lvcw==>.

Id	Localización	Localidad	Causa	Observaciones
01	Latitud: 22.601 Longitud: -105.786	(Ninguno) Sinaloa, Nayarit.	La retención de sedimento del Río Santiago en la presa de Aguamilpa, es responsable de la disminución y suspensión del aporte de hasta 80 por ciento de los sedimentos.	47 mil personas están en riesgo en Tabasco por el ascenso 7mm anuales del nivel del mar y la Erosión Costera que abarca un promedio de 2 metros hacia dentro cada año.
02	Latitud: 20.6733 Longitud: -105.287	Nuevo Vallarta, Nayarit.	Falta de aporte de sedimentos.	La tasa de erosión promedio anual en playa 17.4 m/año.
03	Latitud: 20.5339 Longitud: -105.292	Mismaloya, Jalisco.	Déficit en el aporte de sedimentos en la costa y oleaje de tormenta.	Evento ocasionado por un deslizamiento de sedimentos a causa de la pendiente abrupta de la playa.
04	Latitud: 15.6553 Longitud: -93.4138	Agua Tenalda, Chiapas.	No disponible.	Las imágenes abarca un periodo entre 1985-2016.
05	Latitud: 14.7547 Longitud: -92.4646	San Antonio, Chiapas.	No disponible.	La imágenes abarcan un periodo entre 1985-2016.
06	Latitud: 14.7483 Longitud: 92.4576	Villa San José, Chiapas.	No disponible.	Perdida de 9.8 m en un año.
07	Latitud: 14.7381 Longitud: -92.445	Las Garzas, Chiapas.	No disponible.	Las imágenes abarcan un periodo entre 1985-2016.
08	Latitud: 14.734 Longitud: -92.4404	(Ninguno) Chiapas.	No disponible.	Unidad de investigación de los sistemas acuáticos de la Universidad Autónoma de Chiapas. Perdida de 14.4m en 6 meses.
09	Latitud: 14.7108 Longitud: -92.417	Puerto Madero (San Benito), Chiapas.	No disponible.	En un periodo de tres años se calcula que el mar avanzo más de 100 metros al poblado y que decenas de palapas-restaurantes fueron pulverizadas por el oleaje.

Q3MTQsejoyLGw6YzQ2MXxjMTEx-c2VydmIjaW9z), son seis los puntos con registros de erosión costera intensa (tabla 1), de los cuales cinco se ubican en el municipio de Tapachula, Chiapas (tabla 1; figura 4). Chiapas ocupa a nivel nacional, junto con Yucatán, el cuarto lugar en número de sitios (seis) con erosión intensa, y el primer lugar en la costa del Pacífico.

Tapachula es seguramente uno de los municipios con más sitios documentados con retrogradación de playas en México, lo que hace de este municipio un modelo no deseado de análisis. De acuerdo al Servicio

Geológico Mexicano (SGM, 2012) en las playas de Tapachula se distinguen dos áreas muy disimiles, una zona *a* de erosión intensa ubicada al norponiente de espigones construidos en los años 70s, y una zona *b* con progradación de playas al suroriente de los espigones mencionados (figura 5). Castro-Castro *et al.* (2017) reportaron que la zona *a* identificada por el SGM, un retroceso promedio de 355.3 metros de playa, una de las características por la cual dicha área fue catalogada, actual y prospectivamente, como de muy alto riesgo costero (Castro-Castro, 2018).



Figura 4. Sitios de erosión intensa (🚰) en el municipio de Tapachula, Chiapas. Imagen tomada de: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jI0LjI0ODU4LGxvbjotMTA xLjUwMDAwLHo6MSxsOmM0Nj-F8YzExMXNlcnZpY2lvcw==>

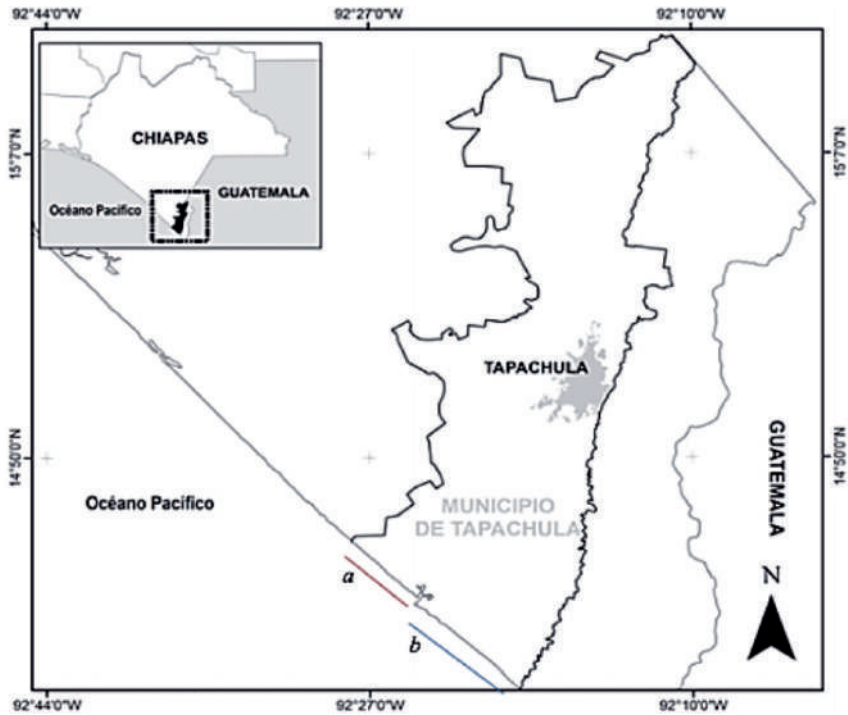


Figura 5. Línea de costa del municipio de Tapachula, Chiapas. *a*= zona de erosión de playas, *b*= zona de acreción de playas. Imagen tomada de Castro-Castro (2018).

Lo que no se sabe

En el Pacífico mexicano, resulta claro que Chiapas, en la zona del Pacífico mexicano, representa un área de gran interés de análisis, particularmente el municipio de Tapachula y en especial en el contexto socioambiental y económico, de los cuales, poco se ha revisado.

La segunda comunidad en importancia del municipio de Tapachula es Puerto Madero (comunidad de mayor población de la costa de Chiapas), con un estimado al 2019 de 12,059 habitantes (CONAPO, s.F). Esta comunidad se localiza en el área *a* definida por el SGM y que se identifica como

de muy alto riesgo costero. Castro-Castro (2018) realizó un análisis preliminar de riesgo costero y describe a toda la línea de costa de la comunidad de Puerto Madero como de muy alto riesgo en cuanto a la alteración de ecosistemas, intrusión salina y erosión, mientras que en cuanto a inundación gradual e inundación repentina y catastrófica como de alto riesgo, evidencias de las características de la zona *a* se muestran en la figura 6.

Cabe destacar el carácter preliminar del análisis realizado por Castro-Castro (2018), lo que hace necesario profundizar

en el análisis; además, durante el 2018 se reportaron procesos de erosión en el municipio de Mazatán, municipio adyacente a Tapachula, erosión que requiere ser cuantificada a la brevedad posible.

La catalogación de muy alto riesgo costero del mayor núcleo poblacional de la costa de Chiapas, representa un elevado nivel de desafío en materia de planeación y protección civil, así como de protección de la infraestructura, más aún cuando se ha planteado el desarrollo del puerto marítimo de Puerto Chiapas (Puerto Madero es la comunidad y Puerto Chiapas el desarrollo Portuario).

A la fecha se ignora, cuantitativamente, el impacto social, económico y ambiental de la erosión de las playas en Chiapas, restringiéndose únicamente a daños causados en la infraestructura turística, principalmente a palapas o restaurantes a orilla de playa, hoteles y actividades recreativas; sin embargo, dichos daños no se han cuantificado económicamente y por ende también se desconoce el daño social (desempleos, emigración, educación, desintegración familiar entre otros), además del impacto en la fauna de las playas y el paisaje costero.

Los problemas

El deterioro y daños que la infraestructura turística y familiar han sufrido, así como la alteración del paisaje costero (figura 6), como consecuencia de los intensos procesos de erosión de las playas de Tapachula, constituyen los principales daños físicos sufridos a la fecha y sus costos económicos (por construcción de muralla de piedras para protección de la población, destrucción de infraestructura y pérdida de playas para uso recreativo) son a la fecha incuan-

tificables; sin embargo, es aceptable decir que estriba en miles de millones de pesos.

De acuerdo al portal del INEGI (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjI0LjI0ODU4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmM0NjF8YzExMXNlc-nZpY2lvcw==>) en Chiapas existen 16 puntos de erosión costera apreciable, tres puntos de erosión costera perceptible, dos sitios de erosión costera aguda y seis sitios de erosión costera intensa, de lo anterior, el



Figura 6. Evidencias de daños y cambios que ubican de alto y muy alto riesgo costero el área a (comunidad de Puerto Madero) de las playas del municipio de Tapachula, Chiapas. Imágenes tomadas de Castro-Castro (2018).

83 % de sitios con erosión intensa y el 50 % de sitios con erosión aguda, se localizan en el municipio de Tapachula.

La erosión de las playas de Tapachula inicia inmediatamente después de la construcción del Puerto iniciado en el año de 1972 y concluido en 1980 (Castillo, 2008), de hecho los registros del INEGI de la erosión costera en Chiapas que se reportan en su portal se realizaron con imágenes que van

de 1985 al 2016. Los problemas directos e indirectos que se han derivado de la erosión costera se visualizan en la figura 7.

Cabe destacar que los daños indirectos, mencionados en la figura 7, con el paso del tiempo se han agudizado ante la baja constante de los volúmenes de captura de recursos pesqueros, principalmente de tiburón y camarón.

Los indicadores y alcances para monitorear los problemas

Para el caso de la costa de Chiapas, que ocupa el primer lugar en sitios con erosión costera intensa en todo el Pacífico mexicano, resulta apremiante lograr establecer indicadores que permitan de una manera

sencilla, pero efectiva, valorar los procesos erosivos y poder, en su caso, emitir una alerta temprana que permita minimizar los daños posibles.



Figura 7. Problemas generados directa e indirectamente por la erosión costera de la comunidad de Puerto Madero, Tapachula, Chiapas.

Una forma sencilla, económica y efectiva de monitorear cambios en la línea de costa y estimar cuantitativamente la erosión o progradación costera directa, es la descrita en Castro-Castro *et al.*, (2017), ubicando puntos fijos con tubos de pvc de entre uno o dos pulgadas de diámetro y de entre 50 a 100 cm de largo (figura 8) enterrados en la zona de Backshore (área hacia el continente después de la berma de marea y hasta donde inicia la vegetación), separados 50 m entre ellos (al menos tres puntos fijos, 100 m lineales), si la playa de monitoreo es muy dinámica, se sugiere ubicar el punto fijo lo más retirado posible de la berma de marea.

Una vez instalado el punto fijo, se mide la distancia entre el punto fijo y la berma de mareas (figura 9), esta primera medición se establece como la referencia base a partir de

la cual se valoran los cambios en la playa. Se sugiere que las mediciones se realicen como mínimo una ocasión por mes, lo deseable es una ocasión por semana en playas muy dinámicas. También se recomienda que los datos se vayan graficando inmediatamente después del registro para contar con información clara y relevante para la toma de decisiones. Este método resulta sencillo, económico y muy efectivo para valorar los procesos de erosión y/o acreción de las playas.

Para el caso de la costa de Chiapas, se recomienda que las autoridades municipales se capaciten y realicen esta actividad, ya que es esta autoridad la que realiza el cobro anual por el uso de la zona federal que la SEMARNAT da en concesión a particulares.



Figura 8. Punto fijo enterrado en la zona de Backshore para monitorear cambios en la línea de costa.



Figura 9. Registro de cambios de la berma de mareas con respecto al punto fijo.

Las lecciones aprendidas (y/o reportadas en la literatura)

El proceso de erosión extrema es ya un proceso documentado en Chiapas, Castro-Castro (2018) mencionó seis trabajos relacionados con la erosión de costas en Chiapas, adicionalmente se localizaron los trabajos de Delgadillo-Calzadilla *et al.* (2014) y Rodríguez (2016). No obstante la información existente, y haber informado en el año 2014 a la Administración Portuaria Integral (API) de Chiapas (Oficio No. 02/01/14-CCV/SC/CB, recibido por la API el siete de febrero del 2014) que los espigones no estaban contribuyendo a reducir o detener la erosión costera, resulta claro que las autoridades competentes no han aprendido ninguna lección al respecto, ya que durante los últimos años se continuó con la ampliación y construcción de espigones hacia el

lado poniente de la comunidad de Puerto Madero (figura 10). Así también, el proceso erosivo ha continuado a grado tal que se ha tenido que reforzar el muro de piedra en algunos tramos (aproximadamente 150 metros lineales), además que se han abierto nuevas ventanas que ponen en riesgo a un sector de la comunidad de Puerto Madero (figura 10).

No es errado afirmar que se requiere apremiantemente la capacitación de los tomadores de decisiones responsables del manejo y conservación de las playas, tanto de la SEMARNAT como de la API, con el objetivo de minimizar la erosión extrema de la costa de Chiapas y sus diferentes efectos en la sociedad y el ambiente.



Figura 10. Espigones construidos en los últimos cuatro años (○), área del muro reforzado durante 2018 (□) y ventanas existentes que ponen en riesgo a un sector de la comunidad (□).

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Resulta claro que la primera recomendación se da como consecuencia de los preocupantes resultados que se tienen en la conservación de playas en Chiapas, donde la errónea planeación, como consecuencia de decisiones equivocadas, urge que los funcionarios de los tres niveles de gobierno (SEMARNAT, API, Secretaría del Medio Ambiente e Historia Natural y los Ayuntamientos costeros) se capaciten debidamente y basen sus decisiones en el conocimiento y experiencia existente, de forma que las consecuencias sociales, ambientales e incluso económicas para la comunidad, el municipio y el Estado se minimicen.

Otro tema importante resulta en saber reconocer los límites y consultar a expertos

que puedan contribuir efectivamente a la conservación de las playas. En este sentido, con anterioridad se ha sugerido a la API el considerar los disipadores de energía del oleaje en lugar de continuar con espigones y muros de piedra, ya que los disipadores reducen significativamente la fuerza del oleaje que llega a la playa, crea nuevos hábitats ha especies como el ostión, langosta y pepino de mar, entre otros; además de crear un espacio más seguro para los bañistas. No obstante, se requieren los estudios necesarios para confirmar la mejor opción.

Chiapas es un Estado donde entre el 61.9 % y 72 % de sus municipios se han ubicado entre alta y muy alta vulnerabilidad al calentamiento global (INECC, 2013; Mon-

terroso *et al.*, 2014); en el caso de los nueve municipios costeros, cuatro se identifican con vulnerabilidad media y cuatro con vulnerabilidad alta. Una de las consecuencias esperadas ante el calentamiento global, es el aumento del nivel medio del mar (ANMM) derivado del descongelamiento de los polos y la expansión térmica (Vázquez-Botello, 2008), lo anterior impulsa a una apremiante, real y efectiva vinculación entre la academia, el gobierno (de los tres niveles) y la sociedad, una vinculación dinámica, adaptativa y con visión de largo plazo. Esta relación debe ser organizada y encabezada por las autoridades responsables, SEMARNAT y/o Ayuntamientos costeros.

Otra sugerencia es la propuesta realizada por Barrios-Ramos y Castro-Castro (2013), consistente en una zonación de la playa en cuatro partes (figura 11), a) zona activa: la zona intermareal, hasta el límite del alcance de las olas de mayor intensidad, preferentemente registradas en temporadas de huracanes; b) zona de amortiguamiento: área donde se deben aplicar los 20 m correspondientes a la zona federal descrita

en la Ley General de Bienes Nacionales. Esta zona puede ser concesionada, pero se sugiere que no se permita infraestructura fija, únicamente accesorios móviles como sillas y sombrillas de sol y, por lo tanto, es el área idónea para que los visitantes puedan instalarse temporalmente para el disfrute de la playa; c) zona de servicios: una zona con al menos 20 m de ancho y que debe ser una zona también de posesión del estado mexicano y en su caso concesionado a particulares. En esta área se sugiere instalar infraestructura no fijas como palapas rústicas, tiendas portátiles, kioscos de bebidas y golosinas entre otros; y d) zona de seguridad: zona a partir de la cual ya es posible, con las precauciones ambientales correspondientes (análisis de riesgo ambiental y análisis de largo plazo de la dinámica de la playa), la instalación de infraestructura fija (restaurantes, casas, bodegas entre otras), ya que desde este punto, es posible tener una mayor garantía en la seguridad de la infraestructura a mediano-largo plazo, por lo tanto, una menor probabilidad de pérdida económica.

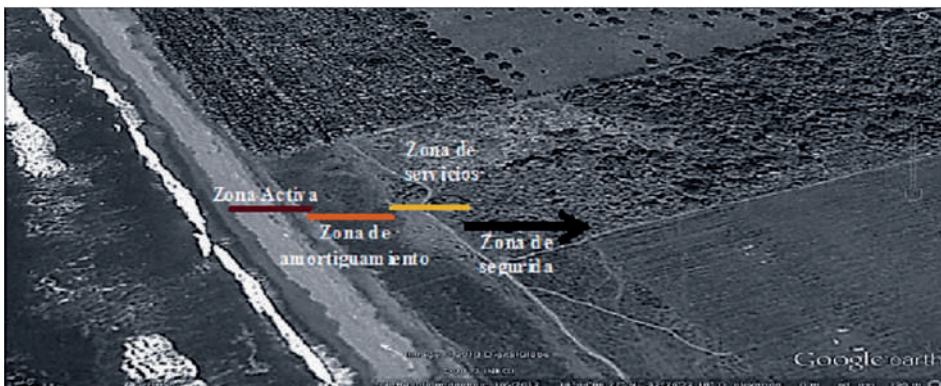


Figura 11. Propuesta de zonación. Imagen tomada de Barrios-Ramos y Castro-Castro (2013).

Literatura citada

- Azuz-Adeth, I. A., 2004. El manejo de los cambios en la morfología costera. p. 235-252. En: Rivera-Arriaga, E., G. J. Villalobos, I. Azuz-Adeth, y F. Rosado May (Eds.). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654 p.
- Barrios-Ramos, M. A. y V. Castro-Castro, 2013. Zonificación de playas: Propuesta para playas del municipio de Tapachula, Chiapas, México. 73-75. En: Memorias de ponencias del 6º. Congreso de Investigación UNACH 2013. ISBN: 978-607-8207-90-9. 5-6 de diciembre del 2013. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 847 p.
- Castillo, P. J. F., 2008. Puerto Madero Chiapas, ahora Puerto Chiapas: un patrimonio olvidado. *Economía*. 3(17): 49-74.
- Castro-Castro, V., 2018. Análisis preliminar de riesgo por cambio climático en la costa del municipio de Tapachula, Chiapas, México. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 7(18): 92-116. Recuperado de: <http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/vol.7/num18/pdf/art5.pdf>
- Castro-Castro V., M. A. Barrios-Ramos, J. H. López, M. M. Fierro, y J. Díaz, 2017. Erosión y sedimentación de playas del municipio de Tapachula, Chiapas, México. p. 133-155. En: Balocchi F. y Chreties C. (Eds.). Procesos de erosión y sedimentación en cauces y cuencas volumen 3. Serie Técnica del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe. UNESCO. ISBN: 978-92-3-300071-1. Montevideo, Uruguay. 151 p.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018. Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Metodologías y herramientas para la evaluación de impactos de la inundación y la erosión por efecto del cambio climático. ONU/CEPAL/IHAUCantabria/Gobierno de Cuba/Gobierno de España. 56 p.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO), S.F. Proyecciones de población a nivel localidad 2010-2030. Recuperado de: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Datos/Bases_de_Datos/Proyecciones_Localidades/Descriptor/Diccionario_Proyecciones_por_Localidad.csv
- Delgadillo-Calzadilla, M.A., E., Mendoza, R., Silva, J.A., González-Vázquez, y D., Infante-Mata, 2014. Beach erosion in San Benito Chiapas, Mexico: Assessment and possible solution. p. 114-121. In: Silva, R., and Strusińska-Correia, A. (eds.), Coastal Erosion and Management along Developing Coasts: Selected Cases. Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 71. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2013. Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México. 14 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2016. Conjunto de datos de susceptibilidad del fenómeno de erosión costera. INEGI. México. 32 p.
- Luijendijk, A., G. Hagenaars, R. Ranasinghe, F. Baart, G. Donchyts, y S. Aarninkhof, 2018. The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, 8(6641): 11 p. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-24630-6.pdf>
- Monterroso R. A., A. Fernández E., R. I. Trejo V., A. C. Conde A., J. Escandón C., L. Villers R. y C. Gay G., 2014. Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Programa de Investigación en Cambio Climático Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://atlasclimatico.unam.mx/VyA>
- Rodríguez, V. A., 2016. Análisis de la erosión en la margen poniente del Puerto de Chiapas. Tesis de Grado. IPN. 152 p.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2012. Atlas de Peligros del Estado de Chiapas. Informe técnico. sgm/ssp. Recuperado de http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wpcontent/uploads/2012/07/informe_final_peligros_chiapas.pdf. Página visitada: 15/05/2013.
- Shadrin, N. V., 2013. Coupling of shoreline erosion and biodiversity loss: examples from the Black Sea. *International Journal of Marine Science*, 3(43): 352-360.
- Vázquez-Botello, A. (Coord.), 2008. Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. Informe Técnico Final. INECC/UNAM/SEMARNAT. 121 p.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Panarquía: propuesta de análisis de la dinámica costera de Tabasco ante el cambio global

*L. Gama Campillo, M. E. Macías-Valadez, C. J. Pacheco-Figueroa,
R. A. Collado-Torres, E. Mata-Zayas, H. M. Díaz-López,
J. D. Valdez Leal, S. Arriaga Weiss y L. J. Rangel-Ruíz*

Resumen

La tasa de calentamiento global, asociada a las emisiones de gases de efecto invernadero, amenaza la supervivencia de ecosistemas enteros. A pesar de las acciones de mitigación implementadas para disminuir las emisiones, estas generarán tendencias para una variación total del nivel del mar entre 54 y 112 mm. Una importante extensión del territorio de Tabasco se localiza en zonas susceptibles de afectación por la elevación del nivel del mar, ocasionando modificaciones en los paisajes de los hu-

medales costeros. Actualmente se promueven estrategias para fortalecer la resiliencia a los impactos asociados al cambio climático. El objetivo del estudio es considerar el enfoque de panarquía para el análisis de los cambios potenciales de paisajes y comunidades de especies que se pudieran presentar en la región costera de Tabasco, por la potencial elevación del nivel del mar. Los resultados muestran que más del diez por ciento del territorio del Estado será transformado con una elevación de 50 cm. De acuerdo al enfoque de panarquía, la zona costera de Tabasco estaría iniciando una etapa de crisis (liberación), por los impactos reportados en diferentes investigaciones, seguida de la etapa de reorganización. En esta última, solamente las especies que se adapten permanecerán, así como las que aprovechen las nuevas oportunidades en la etapa de crecimiento. La cartografía elaborada para este estudio, la pérdida potencial de territorio favorecería la generación de nuevos esteros en la zona de pantanos con características favorables al desarrollo de manglares que con el enfoque de panarquía, correspondería a la etapa de reorganización.

Palabras clave: cambio climático, elevación del nivel del mar, servicios ecosistémicos, manglar, resiliencia.

Introducción

Los cambios biofísicos y procesos naturales responden a una actividad normal de evolución del planeta. Sin embargo, los humanos han tenido también un papel trascendental en estos cambios, que iniciaron hace siglos y que se han acelerado especialmente en las últimas décadas, lo que se conoce actualmente como «cambio global». Si bien los recursos tanto renovables como no renovables han sido siempre utilizados como una fuente de bienes, en un principio la limitada capacidad productiva y la relativamente poca escala de explotación por siglos, dio posibilidades de regeneración y los impactos en el sistema eran de carácter local o extraordinariamente regional (Hughes, 2004; Western, 2001). No obstante, el crecimiento demográfico y desarrollo de capacidades tecnológicas en especial en el último siglo, dieron pie a una era industrial que ha resultado en drásticos impactos ambientales, algunos de los cuales son consi-

derados hoy irreversibles. Estos cambios se reflejan especialmente en la modificación de los ecosistemas, que resultan en la pérdida o alteración de los servicios ecosistémicos de los que la sociedad depende (MEA, 2005).

Al respecto, Meadows *et al.*, desde 1972, señalaron en las conclusiones del informe «Los límites del crecimiento», que el incremento de la población, el crecimiento de los procesos industrializados y la contaminación, así como la producción de alimentos y explotación de los recursos naturales, resultarían en un colapso para el planeta, preludio que había sido anunciado previamente por autores como Marsh (1864) y Carson (1962). Hoy, la pérdida de ecosistemas y biodiversidad, degradación de suelos, contaminación del aire y disminución en la disponibilidad de agua, representan una amenaza al desarrollo actual y al futuro de la humanidad, a la que se suma el calenta-

miento de la atmósfera y los océanos. En el «Antropoceno» (Monastersky, 2015), como algunos autores llaman a esta era por las interacciones de los humanos con el planeta, se identifican nueve «fronteras» planetarias, que no debiéramos sobrepasar para no enfrentar procesos irreversibles que amenacen nuestro bienestar: pérdida de biodiversidad, cambio climático, equilibrio de flujos biogeoquímicos de nitrógeno y fósforo, cambios de uso de la tierra, disponibilidad de agua dulce, acidificación oceánica, carga atmosférica de aerosoles, agotamiento del ozono estratosférico y contaminación química (Rockström *et al.*, 2009). Autores como Krautkraemer (2005), argumentan en relación con los sistemas económicos, que en la búsqueda de capacidades de desarrollo y bienestar para la población, no se considera que los recursos sean limitados en el planeta. Sin embargo, el grado de deterioro de los procesos naturales asociado a los problemas señalados, resultan en una incapacidad de los sistemas para mantener y proveer los «bienes y servicios» necesarios para cubrir las necesidades de la población, ya que la humanidad se ha apropiado de los recursos como un «conquistador», y a su vez hoy en día busca un futuro sostenible (Schellnhuber, 1999).

De acuerdo con el reporte «Ecosistemas y bienestar humano: síntesis general» de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de 2005, un tercio de esta población del mundo «que por un lado explota los recursos y por el otro busca la sustentabilidad», vive en zonas costeras y casi la mitad de las principales ciudades con más de 500 000 personas, se ubicaban a menos de 50 kilómetros de la costa. Tessler *et al.* (2015), en sus investigaciones encontraron que las principales ciudades del mundo están ubicadas en deltas, particularmente

en las zonas costeras, que históricamente han representado un espacio natural para asentamientos humanos, por ofrecer acceso a bienes y servicios ambientales. Estudios como el de Costanza *et al.* (1997), Rao *et al.* (2015) y Yañez-Arancibia *et al.* (2010), por mencionar algunos, han señalado o estimado la diversidad y el valor que tienen los diferentes servicios ecosistémicos costeros por la riqueza de sus ecosistemas.

En el caso de los humedales, de acuerdo con el análisis de la «Evaluación de los Ecosistemas del Milenio» (MEA, 2005), sus servicios ambientales no solo mitigan la pobreza, sino que mejoran el nivel de bienestar de las comunidades que en ellos habitan en cuanto a aprovisionamiento, regulación, apoyo y valores culturales, particularmente en la regulación del ciclo hidrológico que permite tener acceso a agua no solo para consumo humano y protección de la biodiversidad, sino para actividades productivas. Sin embargo, el cambio de uso del suelo a diferentes actividades productivas y el avance de la urbanización han modificado radicalmente estos sistemas, provocando la pérdida de la biodiversidad y la alteración de procesos naturales que disminuyen o ponen en riesgo el acceso a estos servicios ambientales. De acuerdo con Tessler *et al.* (2015), los deltas son altamente sensibles a modificaciones, y si bien los que se ubican en países desarrollados podrían resistir por más tiempo gracias a inversiones en protección o mantenimiento, en general se ven amenazados porque a largo plazo los cambios generan modificaciones que causan impactos ambientales la mayor parte de las veces insostenibles.

Además, actualmente los cambios en la morfología costera naturales o asociados a infraestructura, tienen consecuencias en el funcionamiento de estos ecosistemas (Her-

nández-Santana *et al.*, 2008). Mentaschi *et al.* (2018) realizaron una evaluación de la morfodinámica costera global en el periodo de 1984 a 2015, encontrando un retroceso de casi 28 000 km², concluyendo que la erosión costera se incrementará conforme se incremente el nivel medio del mar. Esta variación del nivel medio del mar en México, depende de variaciones regionales de mareas; corrientes costeras; los eventos meteorológicos entre otros de carácter local, regional o global como es la Oscilación decadal del Pacífico o el fenómeno de El Niño (ENOS) (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2010), con posibilidad de potenciarse por la variabilidad climática asociada al calentamiento global.

En ese sentido, aunque los registros geológicos muestran cambios climáticos a lo largo de la historia (Seyfert y Sirkin, 1973), la tasa actual de calentamiento global amenaza la supervivencia de ecosistemas enteros. El análisis de los registros promedio de temperatura del aire superficial y de la superficie del mar desde la época pre-industrial al 2017, marcan una tendencia de incremento que se acerca a un grado centígrado (IPCC, 2018). Asociado a este incremento, se vinculan eventuales cambios como el incremento de eventos hidrometeorológicos extremos con potencial de inundaciones y sequías. Además, por el incremento de la temperatura del mar y su expansión térmica, se registra un incremento del nivel medio del mar y un incremento de las tasa de deshielo de las masas polares, con potencial para tener veranos sin hielo marino en el ártico al menos una vez por década (IPCC, 2018), siendo incierto aún como se reflejará esto en las diferentes zonas costeras (Nicholls y Cazenave, 2010), en cuanto a un aumento del potencial de erosión y pérdida de playas, salinización de

los acuíferos litorales y una mayor exposición del frente de costa durante los temporales de mar. De hecho, la velocidad del deshielo es aún incierta, y con reportes recientes de fracturas en los glaciares que podrían acelerar la elevación del nivel medio del mar (Milillo *et al.*, 2019). De acuerdo con el IPCC (2018) con escenarios proyectados de temperatura entre 1.5 a 2 °C, con la posibilidad de tener extremos máximos mayores en algunas regiones, se proyecta una elevación media del mar de entre 2.6 y 2.9 mm al año. Con esa premisa, se considera que independientemente de las acciones de mitigación implementadas para disminuir emisiones, estas tendencias tendrían poca diferencia para el 2100, esperando una variación total del nivel del mar de entre 54-112 mm. Sin embargo, autores como Grinsted *et al.* (2009); Horton *et al.* (2014), Jevrejeva *et al.* (2012, 2014), Kopp *et al.* (2014, 2017), Rahmstorf (2007) y Vermeer y Rahmstorf (2009), señalan variaciones que van desde 30 cm a más de un metro para finales de siglo.

Ante esta incertidumbre y pérdida de capacidades, a nivel internacional desde hace un par de décadas se ha fortalecido la propuesta de generar resiliencia ante los cambios como una alternativa de adaptación, especialmente a los asociados a la variabilidad climática que enfrenta el planeta. En ese sentido, Holling (2001) señaló que estábamos entrando en una «era de transformación, en la cual la gestión de los ecosistemas debe construir y mantener la capacidad de recuperación ecológica, así como la flexibilidad social necesaria para enfrentar, innovar y adaptarse». Esta filosofía de análisis se basa principalmente en las capacidades de restauración de las funciones de los sistemas, para que estos puedan permanecer en el tiempo.

Gunderson *et al.* (2002) proponen dos alternativas de resiliencia: la habilidad de recuperar el estado estable del sistema original después de una perturbación, o generar las condiciones para mantener los procesos asociados a los «servicios ecosistémicos» después de una inestabilidad, con una restauración parcial del original o diferente pero equivalente en procesos (Holling, 1973), lo que mantiene a los sistemas entre la eficiencia y la resiliencia (Corrons, 2016). Es importante recalcar que en esta última alternativa, no consideran mantener condiciones originales, sino busca lograr un equilibrio que mantenga las mismas funciones y a su vez manteniendo la capacidad de manejar el disturbio (Folke *et al.*, 2010).

En México una visión de resiliencia impulsada para el manejo costero por diferentes autores es la citada por Rivera-Arriaga (2017), “*la habilidad de sistemas, infraestructuras, gobiernos, negocios y población para resistir, absorber y recuperarse de lo adaptarse a una situación crítica que pueda causar daño, destrucción o pérdida de significancia nacional*”, que tiene desde una perspectiva antropocéntrica relación con la capacidad de adaptarse a lo inesperado. Sin embargo, esta perspectiva requiere de estrategias de resiliencia a largo plazo (Tessler *et al.*, 2015), debido a la complejidad tanto espacial como temporal de las zonas costeras que se encuentran en profundos procesos de asimilación. Tessler *et al.* (2015), igualmente destacan, que en la mayoría de los casos la mayor dinámica de los deltas corresponde a la parte baja de las cuencas, misma que lleva en muchos casos siglos de modificaciones, las cuales están actualmente consideradas en riesgo.

Además, en relación con la construcción de resiliencia, particularmente a los impac-

tos esperados por el calentamiento global, se requiere en la mayoría de los casos caracterizar las respuestas de las zonas costeras a los diferentes escenarios en escalas temporales que exceden el tiempo de vida de las generaciones que hoy las habitan, comprometiendo las perspectivas que las futuras generaciones pudieran tener. Partiendo de esta premisa, la posibilidad de implementar estrategias de resiliencia con una visión multidimensional, se dificulta debido a los compromisos que los actuales actores podrían asumir con los futuros usuarios de los recursos, y esto se torna más complejo si los impactos actuales son el resultado de una sinergia de siglos de modificaciones al entorno en la región.

Partiendo de que la dinámica costera es un sistema biocomplejo, un manejo integrado de esta zona, requiere de conocer su vulnerabilidad y costos a los desastres inducidos asociados al cambio climático. Yañez-Arancibia y Day (2010) plantean la importancia del manejo de ecosistemas para preservar la integridad ecológica, mencionando la importancia de las escalas espaciales y temporales, dentro del espacio territorial que es la cuenca. Si se considera un enfoque de ecodinámica humana (Kirch, 2005), los análisis de relaciones entre los humanos y su entorno deben considerar el histórico de estos vínculos al analizar el paisaje, especialmente en territorios que han sido históricamente modificados por extensos periodos, para comprender aquellos procesos lentos y de baja frecuencia que pudieran ser clave para lograr la resiliencia (Gunderson y Folke, 2003), así como los procesos de asimilación del territorio que afectan las capacidades de resiliencia a largo plazo.

No hay duda, de que durante los últimos 10 000 años hemos modificado acelerada-

mente, nuestros esquemas culturales y de organización social, generando mayores y más complejos problemas que hoy toman un carácter global, sin subestimar las posibles crisis ambientales históricas que llevaron a condiciones como fue el colapso Maya (Shaw, 2003). Estos cambios históricos se suman a las modificaciones recientes y futuras asociadas al calentamiento global, sobre los cuales se requiere aplicar estrategias que permitan mantener capacidades de bienestar para la población. En ese sentido como señala Rivera-Arriaga (2017), se vuelve un reto el poder aplicar políticas que consideren todos los aspectos importantes biofísicos y socioeconómicos, que se potencian al considerar los intereses políticos y económicos. Por esta razón, es necesario contar con información que permita conocer detalles de los paisajes y su estado de conservación, lo que facilitará la estimación de los impactos esperados en diferentes escenarios de cambio climático.

Los resultados de análisis preliminares en la región (Gama *et al.*, 2010), evidencian que la zona está siendo afectada por la construcción de infraestructura y sus efectos sobre los procesos naturales se acentuará al modificarse aún más las condiciones climáticas. Comprender el funcionamiento del sistema requiere determinar la dinámica y sus interacciones, considerando tanto las variables “rápidas” como las “lentas” o las posibles “correlaciones directas o inversas” –que pueden ser fuertes o débiles– en las diferentes escalas, sociales y ecológicas. Así como, entender tanto el origen como el posible papel que tienen los cambios en especial los que dan lugar a –transformaciones–, lo que implica considerar “una ciencia con visión de largo plazo” (Gunderson y Folke, 2003). Redman (2005), señala en primer lugar, que en estos sistemas

socioecológicos acoplados de largo plazo, es importante considerar primero: que el cambio no es ni continuo ni gradual, ni consistentemente caótico, sino episódico con períodos de lenta acumulación de memoria (o lo que podríamos considerar una acumulación de capital natural), marcados por repentinos escapes y reorganizaciones de estas acumulaciones, donde este comportamiento resulta de la interacción entre las variables lentas y las rápidas. En segundo lugar afirma, que tanto las características espaciales como las temporales, no son uniformes ni invariantes en una escala; sino patrones de procesos, fragmentados y discontinuos en todas las escalas. Finalmente, los sistemas complejos adaptativos no tienen un solo equilibrio de autorregulación, sino que diferentes equilibrios reflejan diferentes estados funcionales, en las diferentes escalas.

Debido a que la teoría de la resiliencia enfatiza la inevitabilidad de los cambios como una dinámica entre estabilidad y transformación (Holling, 1973), y las interacciones en escalas de tiempo y espacio que podrían repetir patrones previos, o generar transformaciones, se espera que los cambios generarán nuevas configuraciones, interacciones y dinámicas, a las múltiples configuraciones posibles, reconocidas por Gunderson *et al.* (2002) como «panarquía» (vocablo basado en el nombre del dios griego de la naturaleza Pan, en relación con el cambio impredecible). Este es un marco conceptual, que permite explicar la dinámica de sistemas naturales y de grupos sociales dinámicamente organizados y complejos (Gunderson *et al.*, 2002) en escalas de tiempo y espacio. De acuerdo con Holling *et al.* (2002), el enfoque de la panarquía, se desarrolla en cuatro etapas: explotación (r); conservación (K); liberación

(Ω); y reorganización (α), que representan un conjunto anidado de ciclos adaptativos, que actúa como diferentes jerarquías en escalas de rangos discretos, donde el número de niveles varía, pero corresponde a la escala dominante del sistema.

En ese sentido, ningún sistema puede entenderse o gestionarse centrándose en una sola escala, ya que todos los sistemas existen y funcionan en múltiples escalas de espacio, tiempo y organización social, y las interacciones entre escalas determinan la dinámica del sistema en cualquier escala. Dado que el enfoque esencial de la Panarquía es racionalizar la interacción entre cambio y persistencia, entre lo predecible e impredecible, Holling *et al.* (2002) basan la propuesta en el análisis de jerarquías e interacciones a diferentes escalas integradas, que permiten una evolución adaptativa, que podría resultar en un escenario completamente diferente. Además, los cambios se pueden reorganizar entre escalas espaciales o temporales, que generan las estructuras a escalas más grandes y proporcionan la forma y los espacios temporales de acumulación de «capital natural» que servirán de base para la reorganización en torno tanto a las mismas estructuras y procesos en su escala, o bajo condiciones de colapso o procesos “destructivos” que pueden afectar a otras escalas (Angeler *et al.*, 2016).

De acuerdo con el concepto de panarquía, los ciclos adaptativos se conectan en una jerarquía anidada, generando múltiples conexiones entre las fases del ciclo adaptativo de un nivel y las fases en otro nivel (Holling *et al.*, 2002; Angeler *et al.*, 2016) interrelacionándose de acuerdo a las respuestas y ajustes de los sistemas en que están inmersos. Los niveles de escalas

menores son más rápidos y generan alternativas nuevas que identificamos como “innovación”, mientras que los niveles más grandes y más lentos estabilizan y conservan los recursos y dinámica del sistema y el “capital natural”. Esta reorganización permite el establecimiento de nuevas configuraciones del sistema y oportunidades para la incorporación de elementos o procesos, oscilando entre la resiliencia y la eficiencia. Si bien es cierto, que actualmente se promueve una perspectiva de resiliencia como estrategia de análisis de los sistemas socioambientales, que favorezcan alternativas adaptativas a los impactos del cambio climático, se han identificado zonas costeras que debido a la elevación del nivel del mar presentarán modificaciones que en muchos casos resultarán en cambios drásticos, donde seguramente se formarán nuevos procesos y comunidades de especies por la pérdida de territorio asociada a los cambios en la línea de costa.

El objetivo de este estudio es aplicar el enfoque de “panarquía” de Gunderson y Holling (2002), asociado a los cambios espaciales y temporales de un sistema complejo no-lineal, modelando los futuros cambios en los ecosistemas costeros de Tabasco en escenarios a largo plazo por la potencial elevación media del mar, que podrían favorecer el desarrollo de zonas de manglar, que reflejen una reorganización de los servicios ecosistémicos y en la distribución y presencia del capital natural en equilibrios alternativos. Identificar estos posibles cambios, permitiría identificar áreas de oportunidad y proponer estrategias de ajuste, durante los períodos de reorganización y renovación a los nuevos ensambles de especies y sistemas naturales que se presenten.

Zona de estudio

Tabasco se ubica en el trópico húmedo principalmente en la planicie costera del Golfo Sur, en un paisaje dominado por diferentes tipos de humedales. Tiene cuatro municipios con litoral de costa con una extensión de 191 km. Sin embargo, por la dinámica y características físicas del territorio, se considera que 13 de los 17 municipios (83.39 % del Estado) tienen influencia costera (Gobierno de México, 2012) y en ellos habita más del 90 % de la población. El estado se ubica en la zona de descarga o cuenca baja, de la región con mayor disponibilidad de agua por cuenca del país llamada Grijalva-Usumacinta, con un importante grado de transformación. La asimilación del territorio se remonta a la época prehispánica por la riqueza en recursos naturales, donde se congregaron pobladores a orillas de los ríos y lagunas, encontrando huellas de remanentes de cambios que se aprecian según Gómez-Pompa (1985) en la abundancia de algunas especies de la selva, como un indicativo de un manejo silvícola. Los olmecas que habitaban en esta región como se puede apreciar en los rastros arqueológicos, fueron los primeros agricultores “especializados” en el uso y aprovechamiento de los recursos tropicales en la zona (Tudela, 1989).

De hecho, desde la época prehispánica esta región fue un espacio de comunicación entre las culturas del altiplano con las comunidades mayas y los grupos de Centroamérica, manteniendo una importante interacción cultural y económica (Moreno, 2013). Debido a esta dinámica, las actividades productivas han generado alteraciones que rompen con el equilibrio natural que garantice su funcionalidad, reportadas desde el siglo pasado (Tudela, 1989). Los

cambios de uso del suelo, así como la modificación de la hidrodinámica, han contribuido a transformar los procesos naturales del paisaje tabasqueño, disminuyendo su capacidad de amortiguar las amenazas asociadas a eventos tanto de origen natural como antrópico, como es el caso ahora de los impactos asociados al cambio global. Al respecto, estudios en relación con las amenazas derivadas de la exposición del litoral tabasqueño al incremento esperado por la elevación del nivel del mar (Ortiz y Méndez, 1999; Hernández-Santana *et al.*, 2008; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2010 Núñez Gómez *et al.*, 2016; Ramos-Reyes *et al.*, 2016;), muestran que las planicies costeras o llanuras de inundación, por su baja elevación son además susceptibles a inundaciones por mareas de tormenta y oleaje extremo y por ende a la modificación de su línea de costa.

De acuerdo con Barba-Macías *et al.* (2006), en el estado existen cuatro tipos de humedales: costeros, lacustres, palustres y ribereños que varían en extensión entre la época de secas y la de lluvias y corresponden en general al 27.76 % del territorio, con el mayor porcentaje en lo que correspondería a la zona de influencia costera, predominando los palustre o de pantano, seguidos de los costeros. Entre ellos, los manglares son dominantes en la zona de mareas por sus mecanismos para resistir y crecer en ambientes total o parcialmente inundados y salinos, alcanzando su máximo desarrollo en condiciones estuarinas. De acuerdo con el Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES, 2018), los manglares en América están desapareciendo a una tasa de 2.1 % debido a su sobreexplotación, el

deterioro de la calidad del agua y el desarrollo costero. Además, se considera que estarán expuestos a importantes impactos asociados al cambio climático, por diferentes factores como es el aumento de la temperatura y la elevación del nivel del mar (Wooddroffe *et al.*, 2015). El IPBES (2018) reporta también, que los manglares en la región de Mesoamérica, resguardan un importante número de especies amenazadas. Se reconocen diferentes servicios ecosistémicos directos o indirectos que son aportados por los humedales en esta región como son: abastecimiento de agua; retención de nutrientes; producción de madera y protección, que tan solo en la zona de la reserva de Pantanos de Centla han sido evaluados en 545 millones de dólares americanos aproximadamente (Mata *et al.*, 2017).

De acuerdo con Yáñez-Arancibia *et al.* (1998), los manglares como parte de los ecosistemas de humedales costeros, son un recurso forestal importante en la banda intertropical, especialmente vulnerables al cambio de uso de suelo por presiones económicas. Por su localización en la zona intermareal, son considerados también como sensibles al cambio climático global, en relación con los efectos del incremento del nivel medio del mar, el incremento de la temperatura, la fuerza de vientos, las ma-

reas crecientes y los cambios en el patrón de tormentas (Doughty *et al.*, 2016). Sin embargo, Yáñez-Arancibia *et al.* (1998) consideran que las comunidades de manglar tienen la posibilidad de avanzar tierra adentro si hay suficiente ambiente sedimentario sin obstáculos topográficos, lo que permite considerar que por más indeseables que puedan ser los impactos del cambio climático en algunas regiones, existe la posibilidad de reorganizaciones en el proceso de transición que pudiera ser gradual o rápida, por lo que identificar estos procesos y tendencias permitirá generar estrategias a las nuevas condiciones. Sin embargo, como señala Alongi (2009) la composición y estructura de los manglares, es el resultado de complejas interacciones de tolerancia fisiológica y competencia que resulta en una distribución que responde tanto a gradientes físicos y químicos como a cambios en la geomorfología. Además de acuerdo con Mata *et al.* (2017), es importante señalar que tienen una alta capacidad de proveer bienes y servicios ecosistémicos como medidas de adaptación al cambio climático asociados a la protección y estabilización de la línea de costa ante la acción erosiva del mar y perturbaciones naturales como tormentas y huracanes.

Materiales y métodos

Utilizando el software ArcMap 10.0 como herramienta de manejo de información geográfica, con base en que la zona con potencial para variar por la elevación media

del nivel del mar, se definieron los criterios para la selección de la información, mismos que se representan en capas de información geográfica, tanto físicas como ecológicas.

Físicos

Modelo Digital de Terreno para delimitar la línea de costa y generar un modelo de elevación de alta resolución, construido utilizando una nube de puntos LIDAR actualizado (INEGI, 2012) (figura 1). Para determinar los rangos en las cotas del modelo de elevación así como los cambios potenciales en el nivel medio del mar en la región, se consideró el informe del IPCC (2018), que señala que los modelos construidos para estimar las proyecciones del potencial incremento mundial del nivel medio del mar (en relación con los datos entre 1986 y 2005), estima un mínimo de 26 y un máximo de 77 cm para el año 2100, si el incremento de temperatura asociado al calentamiento global no supera el valor de 1.5 °C.

Además, utilizando el servicio de Monitoreo del Nivel del Mar (IOC-Sea Level Station Monitoring Facility) de la UNESCO/IOC (UNESCO/IOC y el Instituto Marino de Flandes (VLIZ), <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/index.php>), se identificaron las estaciones de monitoreo existentes en la costa de Tabasco así como las más cercanas, para obtener información y proyectar posibles cambios utilizando la metodología propuesta por Kopp *et al.* (2014) para escenarios locales, utilizando la herramienta Local SLR.

Se consideró un buffer que se agregó a la clase 0 a 0.5 a partir de la línea de costa basado en la información de tasas de erosión y acumulación por región de acuerdo con lo estimado por Ortiz-Pérez *et al.* (1996,

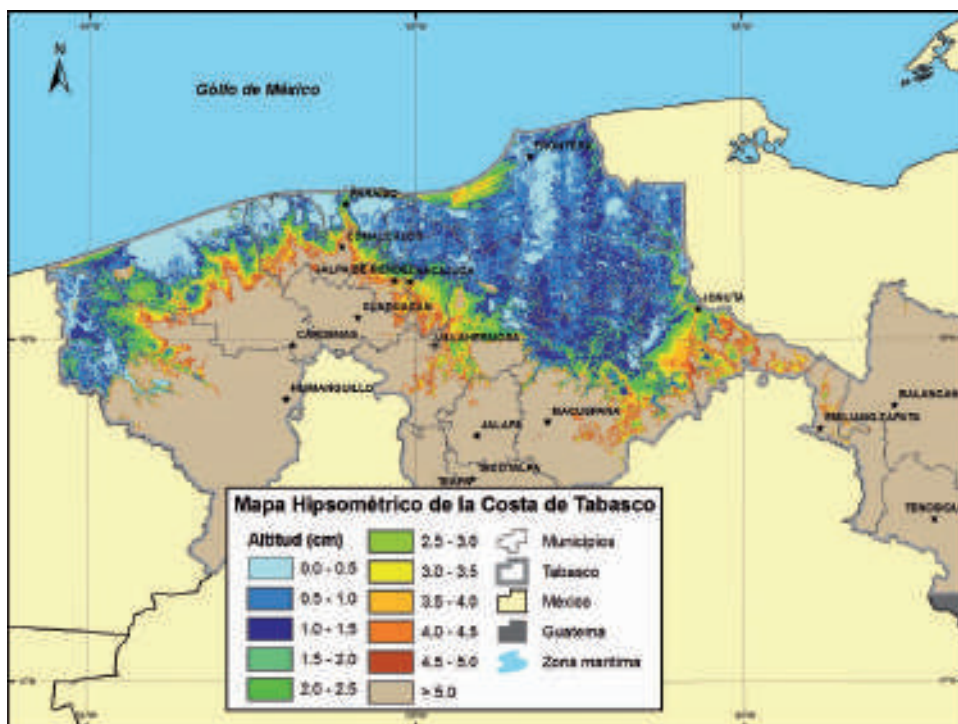


Figura 1. Modelo digital de terreno de Tabasco, con cotas de elevación entre cero y cinco metros.

1999 y 2010) y Hernández-Santana *et al.* (2008), en zonas de acreción (figura 1).

Ecológicos

Para la cobertura de humedales se utilizó el cruzamiento de la información de humedales de Pacheco-Figueroa (2014) y los datos de distribución de manglar de la CONABIO (2015), que fueron reclasificados en cuatro clases: 1) manglar, 2) humedales (sin considerar manglar), 3) localidades urbanas y 4) cuerpos de agua, que permitiera delimitar las zonas de humedales costeros separando las zonas de manglar.

Resultados

Se identificaron cuatro estaciones de monitoreo en la región: Frontera, Tabasco (18.53229/-92.654869); Sánchez Magallanes, Tabasco (18.2968333/-93.8545); Ciudad del Carmen, Campeche (18.616667/-91.81667) y Coatzacoalcos, Veracruz (18.125556/-94.419167). Sin embargo, las dos primeras no presentaron datos asociados que permitieran realizar una proyección ya que solo tienen registros de 2019 disponibles, por lo que se consideraron las otras dos. Además, estas estaciones no solo están en los límites costeros este y oeste de Tabasco, sino que se encuentran en la misma región subregión fisiográfica “Llanuras y Pantanos Tabasqueños” de la región fisiográfica “Llanura Costera del Golfo Sur”, compartiendo características físico-geográficas.

Utilizando la herramienta Local SLR, se consideraron las proyecciones de elevación del nivel medio del mar de las estaciones de Coatzacoalcos y Ciudad del Carmen, para las décadas de 2030, 2050 y 2100, con in-

La cartografía resultante, se realizó mediante el cruzamiento de la capa de humedales clasificada, con el modelo digital de elevación, utilizando ArcMap 10.0 para identificar las zonas susceptibles de sufrir cambios en la línea de costa afectando el territorio. Además, con base en la distribución actual de los humedales costeros, se identificaron las zonas que por su elevación y cambio en sus características podrían favorecer condiciones para el desarrollo del manglar.

certidumbres de 66 % y 90 %, construidos por la herramienta Local SLR, de acuerdo con la metodología de Kopp *et al.* (2014) con base en los escenarios de emisiones RCP 2.6 y RCP 4.5, misma que se utilizó para una estimación para Tabasco como el promedio entre los dos para Tabasco (tabla 1).

De acuerdo con la metodología de Kopp *et al.* (2014), el cálculo de la elevación media del mar debida tanto al cambio climático como a factores no climáticos, se representan en las medianas que resultan de un análisis de componentes principales y distribución probabilística de un multi-modelo, de acuerdo con los diferentes escenarios de emisiones. En la tabla 1 se presentan, los niveles mínimos y máximos en los dos rangos de incertidumbre considerados, 66 % y 90%, correspondiendo el máximo al percentil 99 del ensamble de las proyecciones.

Como el incremento del nivel del mar es un evento global exógeno a Tabasco en una escala de tiempo no inmediato, considerando los datos potenciales de elevación

de la tabla 1, se consideraron dos escenarios distintos utilizando el modelo digital de terreno (figura 1): un incremento a 0.5 m y uno a 1.0 m sobre el nivel del mar. Estos dos escenarios quedan dentro del rango de lo propuesto tanto por el IPCC (2018), como por Kopp *et al.* (2014) sin considerar la escala de tiempo, que variará dependiendo de las condiciones locales y las medidas implementadas. Debido a lo extenso de Tabasco y lo homogéneo del terreno, estos valores se representaron como cotas en los rangos de 0 a 0.5 m y 0.5 a 1.0 m, quedando el modelo digital de elevación en tres clases: 1) 0 a 0.5, 2) 0.5 a 1.0, 3) mayor

a 1.0. Considerando esta información, se utilizó este modelo y una versión reclasificada modificando las cotas de 0 a 0.5 en la clase cero, por la posible pérdida de esta extensión asociada a la elevación media del mar hasta en medio metro (figura 2), y de 0.5 a 1.0 en la clase 1 para los cruzamientos como escenarios potenciales de cambio, donde el tono azul cercano a la costa refleja las zonas de cambio potencial, con potencial de salinización tierra adentro. Tomando en consideración estos valores el territorio podría verse afectado hasta en más del 10% (tabla 2) por la elevación de medio metro.

Tabla 1. Estimación de los escenarios de elevación del nivel del mar para Tabasco en cm.

Décadas	Escenarios de emisiones*	Coatzacoalcos, Veracruz			Ciudad del Carmen, Campeche			Tabasco
		Mediana	Rango de incertidumbre		Mediana	Rango de incertidumbre		Promedio de las medias
			66 %	90 %		66%	90 %	
2030	RCP 2.6	16	10-22	7-26	21	15-26	11-31	18.5
	RCP 4.5	16	11-21	8-24	20	16-25	12-29	18
2050	RCP 2.6	28	20-37	14-44	35	27-45	21-52	31.5
	RCP 4.5	28	20-37	14-45	26	27-45	22-53	32
2100	RCP 2.6	53	32-79	18-105	68	46-95	32-121	60.5
	RCP 4.5	63	40-90	24-116	78	54-106	39-133	70.5

Datos tomados de: <http://localslr.climateanalytics.org/>, y modificados para Tabasco.

* RCP 2.6 es un escenario compatible con el "Acuerdo de París", que busca no superar 1.5 °C de temperatura media global, a través de acciones de reducción de emisiones, RCP 4.5 es un escenario con algunas acciones de mitigación que considerar que para finales de siglo podrían alcanzarse hasta + 2.5 °C.

Tabla 2. Extensión territorial de Tabasco que se afectarán si el nivel medio del mar se elevara en 0.5 o 1.0 m.

Potencial elevación del mar	Intervalos en m	Área (km ²)	% del estudio
Zonas vulnerables.	9.0 a 0.5	2 849.01	11.53
Zonas vulnerables.	0.5 a 1.0	2 513.49	10.17
Zonas no vulnerables.	1.0 a 900	19 355.94	78.3
Total del Estado.	0.0 a 900	24 718.45	100

Por otro lado, de acuerdo con CONABIO (2015), en la zona costera de Tabasco el manglar ha variado en extensión, con una tendencia a su incremento a pesar de las

presiones socioeconómicas (tabla 3), asociado al parecer al incremento de condiciones favorables para su desarrollo como salinidad.

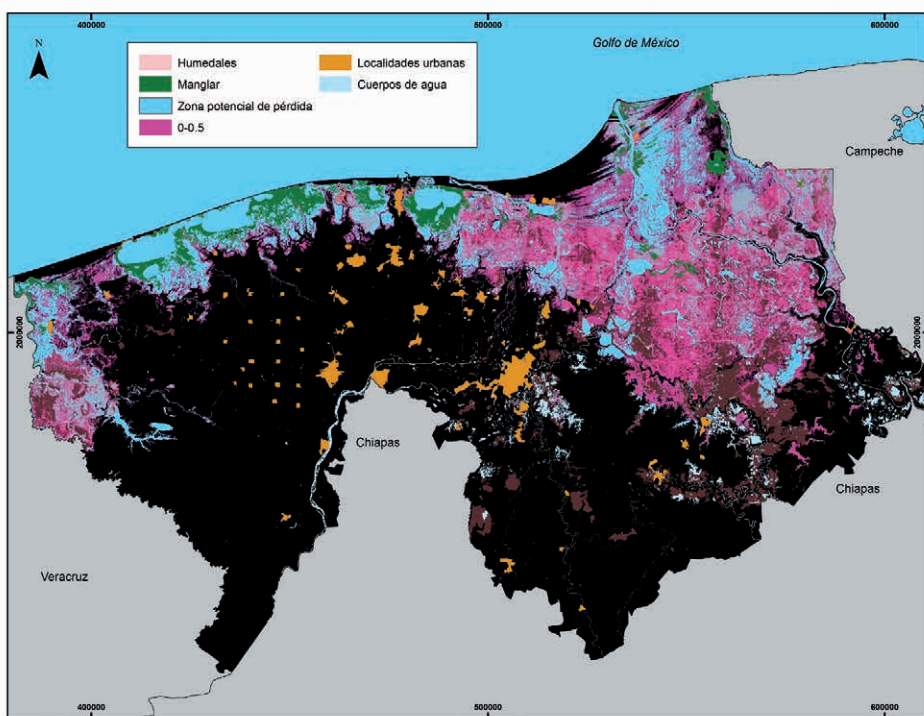


Figura 2. Mapa con las zonas potenciales de entrada de mar cercanas a la costa en tono azul claro con una elevación entre 0 y 0.5 m.

Tabla 3. Extensión en hectáreas de manglar en el estado de Tabasco para diferentes fechas de acuerdo con los datos de CONABIO (2015).

Fecha	Extensión en ha
1972	41 999
2005	44 982
2010	44 590
2015	45 490

Con base en la cartografía generada se realizó el cruzamiento de información de los posibles cambios en el incremento del nivel del mar para la zona de humedales costeros de Tabasco clasificados en: 1) manglar, 2) humedales costeros (sin considerar manglar), 3) localidades urbanas y 4) cuer-

pos de agua. En la figura 3, se aprecian las zonas actuales de distribución del manglar y en la figura 4, las potenciales con las ganancias que podría tener la intrusión marina tierra adentro favoreciendo condiciones adecuadas para cambios en los ecosistemas como sería el desarrollo de manglar.

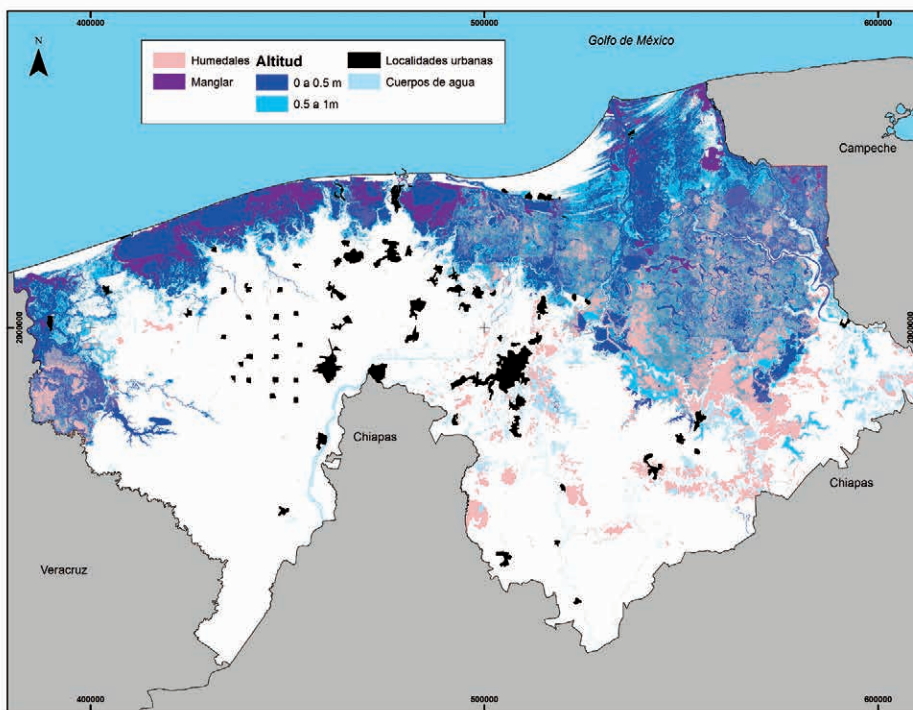


Figura 3. Mapa con la distribución actual de manglar en tono morado, sobre las cotas de 0 a 0.5 y de 0.5 a 1 metro en la zona costera.

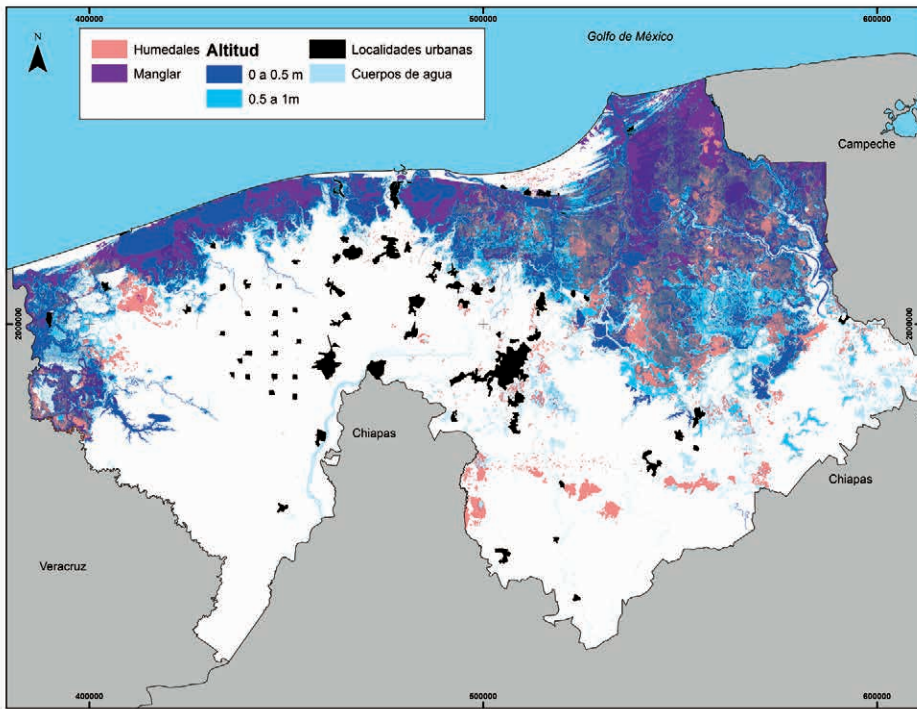


Figura 4. Mapa con la distribución potencial de manglar en tono morado, sobre las cotas de 0 a 0.5 en la zona costera.

Discusión

Los ecosistemas y el sistema socioecológico en la región, están sufriendo una desestabilización local, dentro de una desestabilización global. El IPCC ha señalado que ya no solo se deben buscar medidas de mitigación a las emisiones de gases de efecto invernadero, sino medidas de adaptación a los cambios que ya se vienen presentando, debido al calentamiento global. La política que actualmente se promueve, es buscar estrategias que generen resiliencia con medidas de adaptación basadas en ecosistemas, que mantengan las funciones de los sistemas actuales. Sin embargo, de acuerdo con los datos del IPCC (2018), ya es inevitable

un incremento en el nivel del mar, que en el mejor de los escenarios sería de 59 cm por encima de los niveles de 2000 durante este siglo, lo que en algunas zonas representa la pérdida de territorio que está acabando con pequeñas islas y zonas bajas, al ser las medidas de adaptación para contrarrestar este impacto incosteable para esas naciones.

Confiar en que esto puede detenerse o controlarse, y no buscar las opciones de adaptación o reorganización, podría comprometer las posibilidades futuras de bienestar de la población que habita las zonas de influencia costera en Tabasco, ya que autores como Bamber *et al.* (2019), re-

cientemente han señalado que la elevación del nivel del mar podría llegar hasta 51 cm para el año 2050 en el escenario de emisiones RCP 2.6, que es el que depende del cumplimiento del acuerdo de París, basado en los compromisos de al menos todos los países firmantes. Los cambios que potencialmente se pueden presentar en las costas tabasqueñas, no están del todo estudiados. Sin embargo, se sabe que pueden ir desde la pérdida de territorio tierra adentro, como ya se está presentando en zonas de acreción por erosión costera (Ortiz y Méndez, 1999; Hernández-Santana *et al.*, 2008; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2010; Núñez Gómez *et al.*, 2016; Ramos-Reyes *et al.*, 2016), a cambios en los ecosistemas por los procesos de potencial salinización (Yañez-Arancibia y Day, 2010). Cuando los componentes más estables del paisaje como la geomorfología se modifican, requiere de entender que la resiliencia cambiará de escala tanto en el tiempo como en el espacio, que es lo que Gunderson y Holling (2002), reconocen como “panarquía”. En nuestra escala de historia de la humanidad, los cambios geomorfológicos son los más drásticos a enfrentar, ya que dependemos del territorio donde se desarrollan primordialmente nuestros sociosistemas. Las pérdidas de territorio al mar e impactos asociados como procesos de salinización, son causa ya en islas del Pacífico Sur de migración de la población (Milan *et al.*, 2016).

Por este motivo, por más temibles que puedan ser los impactos del calentamiento global en algunas regiones, la identificación de una posibilidad de ajuste bajo un enfoque de “panarquía”, basándose en la capacidad de reorganización, ofrece una alternativa de estudio y ajuste, mientras los sistemas se encuentran en un proceso de transición, de un ciclo diferente de organización a

otro. Además, diferentes investigaciones han señalado que los posibles cambios geomorfológicos de las costas tabasqueñas, podrían ser favorables para el desarrollo de zonas de manglar (Ortiz-Pérez, 1994; Yañez-Arancibia *et al.*, 1998; Day *et al.*, 2008), colonizando tierra adentro (o estero adentro). Los resultados que se presentan en este estudio, muestran la posibilidad de importantes modificaciones en las zonas de humedales costeros que apoyan esta hipótesis, al ser zonas de baja altitud con condiciones favorables para el desarrollo de este ecosistema.

Debido a ser una zona de importante aportación de agua dulce, en esta región se presenta una fuerte inter-dependencia entre los ambientes marino-costero con terrestre-costero, con una fuerte influencia de sedimentos terrígenos formadores del delta fluvial (Yañez-Arancibia *et al.*, 1998), con lagunas costeras y estuarios, idóneos para el desarrollo de manglares, “...gran capacidad de acomodación al mismo tiempo de su alta fragilidad como hábitat crítico, lo cual les permite contender con éxito frente a la variabilidad ambiental de periodo-corto que está induciendo el cambio climático global...” (Yañez-Arancibia *et al.*, 1998).

Con base en la propuesta de Gunderson y Holling (2002) como estrategia de análisis y apoyados en los resultados de los posibles escenarios para Tabasco, se identifican y presentan (figura 5) los cambios potenciales que se esperarían en la zona costera conforme el nivel medio del mar se eleve en las cuatro etapas de la «panarquía» (explotación (r); conservación (K); liberación (Ω); y reorganización (α), que representan el conjunto anidado de ciclos adaptativos, en sus diferentes jerarquías y escalas. La conservación (K), que corresponde a una situación de estabilidad de los humedales

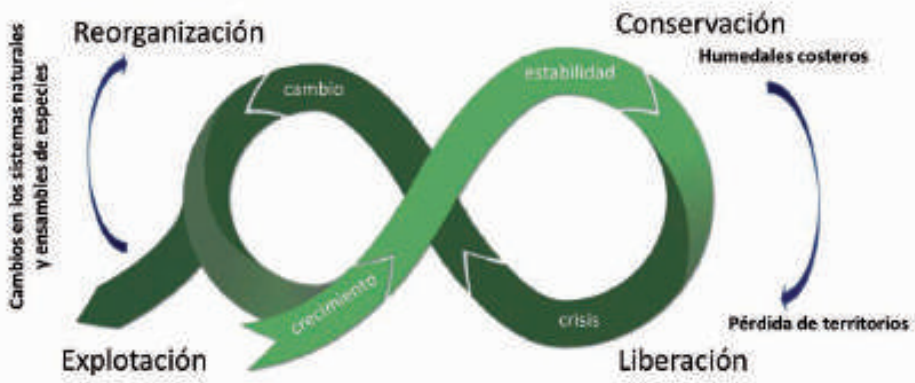


Figura 5. Propuesta de análisis basada en la panarquía, para los cambios esperados en la zona de influencia costera de Tabasco (Modificada de Gunderson y Holling, 2002).

costeros que llamamos actual (que actualmente en algunas zonas ya muestra señales de «crisis» por impactos como alteraciones en la hidrodinámica); liberación (Ω), que es el momento de crisis en el que se inician los impactos asociados a la potencial elevación del nivel medio del mar, desde procesos de salinización, potencial para inundaciones de marea a pérdida de territorio al mar; reorganización (α), donde se presentarán los cambios en los ensamblajes de especies que se adapten, toleren o migren; y explotación (r), proceso en que estos nuevos ensamblajes aprovechen los espacios con cambios en sus características físicas y ecológicas y donde las especies que no se adapten o no sean tolerantes a las nuevas variables migren o se extingan; y conservación nuevamente, lo que represente una nueva estabilidad que de acuerdo con la posible dirección de los cambios que se identifica, podría dar origen a zonas de manglar en posibles nuevas zonas de estuarios que podrían formarse en la región de Pantanos de Centla.

No cabe duda que es importante en estos momentos de «cambio», identificar los

posibles escenarios en etapas de pérdidas y ganancias como mencionó Holling desde 1973. La visión resiliente se basa principalmente en la búsqueda de la permanencia, sin embargo un análisis de las potenciales transformaciones, bajo el enfoque sistémico de pensamiento complejo de «panarquía», considerando no solamente los distintos componentes que intervienen en el sistema, sino también las relaciones e interacciones entre ellos, permite modelar las posibles reconfiguraciones del paisaje, y con esto la reorganización tanto del capital natural como de los servicios ecosistémicos.

De acuerdo con esta propuesta de análisis, como señaló Yañez-Arancibia *et al.* (1998) para el golfo de México, un escenario es la posible redistribución del manglar por colonización asociada a las modificaciones en la zona costera. Además, de acuerdo con este modelo podrían presentarse cambios potenciales en el capital natural en equilibrios alternativos, al presentarse nuevos ensamblajes de especies con tolerancia a la transformación del territorio costero que generarán áreas de oportunidad. Dada la posibilidad de reorganización

en otros sistemas complejos, la teoría de la panarquía puede proporcionar un marco de análisis y el monitoreo se vuelve crítico para la comprensión del comportamiento del sistema, identificando incertidumbres que permitan identificar áreas de oportunidad y proponer estrategias durante los períodos de reorganización y renovación a los nuevos paisajes que se presenten.

Finalmente, los resultados muestran complejidad en las interrelaciones del sistema para mantener tanto la resiliencia como la sostenibilidad con los enfoques actuales. Sin embargo, considerando que existe una relación entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano, se esperaría que de acuerdo al modelo de análisis de «panarquía», en el futuro se presenten también en

estas reorganizaciones de los ecosistemas costeros, cambios que podrían aportar beneficios a la región en relación a estos servicios. En ese sentido, es de destacar que estudios como el de Vázquez-Navarrete *et al.* (2017) en la zona, registra para Pantanos de Centla (región del Estado donde los resultados marcan los mayores cambios potenciales), servicios ecosistémicos que benefician a las comunidades asociados al ecosistemas como el manglar en relación a regulación de contingencias, polinización, control biológico, refugio y producción de alimentos y materias primas, con un valor de más de treinta y siete millones de dólares, los cuales en estos nuevos escenarios podrían incrementarse.

Literatura citada

- Alongi, D.M., 2009. Paradigm shifts in mangrove biology. p. 615-640. En: G.M.E. Perillo, E. Wolanski, D.R. Cahoon and M.M. Brinson (eds.), *Coastal Wetlands an integrated ecosystem approach*, Elsevier. 941 p.
- Angeler, D.G., C.R. Allen, A.S. Garmestani, L.H. Gunderson, y I. Linkov, 2016. Panarchy use in environmental science for risk and resilience Planning. *Environment Systems Decisions*, 36: 225-228.
- Bamber, J.L., M. Oppenheimer, R.E. Kopp, W.P. Aspinall, y R.M. Cooke, 2019. Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, pnas.1817205116.
- Barba-Macías, E., J. Rangel-Mendoza, y R. Ramos Reyes. 2006. Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 22(2):101-110.
- Carson, R., 1962. *Silent Spring*, Houghton Mifflin Harcourt Ed., 376 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2015. *Atlas de naturaleza y sociedad*. CONABIO, México D.F. Consultado en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/atlas/manglar/>
- Corrons, A., 2016. Panarquía monetaria. *Oikonomics Revista de los Estudios de Economía, empresa y sociedad*, 6:43-55.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, y M. Van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Day, J.W., R.R. Christian, D.M. Boesch, A. Yáñez-Arancibia, J. Morris, R.R. Twilley, L. Naylor, L. Schaffner, y C. Stevenson, 2008. Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts*, 31(3): 477-491.
- Doughty, C.L., J.A. Langley, W.S. Walker, I.C. Feller, R. Schaub and S.K. Chapman. 2016. Mangrove range expansion rapidly increases coastal

- wetland carbon storage. *Estuaries and Coasts*, 39: 385-396.
- Folke, C., S.R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin, y J. Rockström, 2010. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4):20.
- Gama, L., E. Moguel Ordoñez, C. Villanueva-García, M.A. Ortiz-Pérez, H. Díaz López, R. Collado Torres, y M.E. Macías Valadez. 2010. Floods in Tabasco Mexico: history and perspectives. p. 25-33. En: D. de Wrachien, D. Proverbs, C.A., Brebbia & S. Mambretti (eds.), *Floods Recovery, Innovation and Response II*. Wit Press, 315 p.
- Gobierno de México, 2012. Acuerdo por el que se expide la parte marina del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y se da a conocer la parte regional del propio Programa (Continúa de la Segunda Sección). Diario Oficial de la Federación. 24 de noviembre de 2012. DOF_24nov12. p. 33-98. Consultado en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/dof/2012/nov/DOF_24nov12.pdf
- Gómez-Pompa, A., 1985. Los recursos bióticos de México, reflexiones, Alhambra Mexicana/INIREB, México, 122 p.
- Grinsted, A., J.C. Moore, y S. Jevrejeva, 2009. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics*, 34(4): 461-472.
- Gunderson, L.H., y C. Folke, 2003. Toward a "Science of the Long View". *Conservation Ecology*, 7(1):15.
- Gunderson, L.H., y C.S. Holling, 2002. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems, Washington, DC, Island Press. 507 p.
- Gunderson, L.H., S.C. Holling, L. Jr. Pritchard, y G.D. Peterson, 2002. Resilience of large-scale Resource Systems. p. 3-20. En: L.H. Gunderson and L. Pritchard Jr. (eds). *Resilience and Behavior of Large-Scale Systems*, SCOPE Series John Wiley & Sons, Ltd., U.K. Island Press, 287 p.
- Hernández Santana, J.R., M.A. Ortiz Pérez, A.P. Méndez Linares, y L. Gama Campillo. 2008. Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Investigaciones Geográficas*, 65: 7-21.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4:1-23.
- Holling, C.S., 2001. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4: 390-405.
- Holling, C.S., L.H. Gunderson, y G.D. Peterson, 2002. Sustainability and panarchies. p. 63-102. En: L.H. Gunderson and C.S. Holling (eds), *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*, Washington, DC, Island Press, 498 p.
- Horton, B.P., S. Rahmstorf, S.E. Engelhart, y A.C. Kemp, 2014. Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*, 84: 1-6.
- Hughes, J.D., 2004. Social structure and environmental impact in the Roman Empire. *Capitalism Nature Socialism*, 15(3): 29-35.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2012. Datos LiDAR. Consultado en: <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/default.html#Descargas>
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). 2018. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas. J. Rice, C.S. Seixas, M.E Zaccagnini, M. Bedoya-Gaitán, M. and N. Valderrama (eds.), Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 656 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018. Global Warming of 1.5°C, Special Report, Summary for Policymakers. WMO/UNEP, 32 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf.
- Jevrejeva, S., J.C. Moore, y A. Grinsted, 2012. Sea level projections to AD 2500 with a new generation of climate change scenarios. *Global and Planetary Change*, 80-81: 14-20.
- Jevrejeva, S., A. Grinsted, y J.C. Moore, 2014. Upper limit for sea level projections by 2100. *Environmental Research Letters*. 9(10)104008:1-9.
- Kirch, P.V., 2005. Archaeology and Global Change: The Holocene Record. *Annual Review of Environment and Resources*, 30: 409-440.
- Kopp, R.E., R.M. Horton, C.M. Little, J.X. Mitrovica, M. Oppenheimer, D.J. Rasmussen, B.H. Strauss, y C. Tebaldi, 2014. Probabilistic 21st

- and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. *Earth's Future*, 2(8):383-406.
- Kopp, R.E., R.M. DeConto, D.A. Bader, C.C. Hay, y R.M. Horton 2017. Evolving Understanding of Antarctic Ice-Sheet Physics and Ambiguity in Probabilistic Sea-Level Projections. *Earth's Future*, 5(12): 1217-1233.
- Krautkraemer, J.A., 2005. Economics of Natural Resource Scarcity: The State of the Debate. Informe Resources for the Future Washington, D.C. Consultado en: https://www.researchgate.net/publication/24122856_Economics_of_Natural_Resource_Scarcity_The_State_of_the_Debate.
- Marsh, G.P., 1864. Man and Nature: Or, Physical Geography as Modified by Human Action, reprinted (1965). Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 560 p.
- Mata-Zayas E.E., L. Gama, C. Vázquez-Navarrete, H. Díaz López, J.M. Figueroa Maheng y J. Rincón Ramírez. 2017. Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos en la zona de influencia costera de la Reserva de la Biosfera de Pantanos de Centla, Tabasco, México: modelo de interacción. p. 177-204. En: A.V. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.), Vulnerabilidad de las Zonas Costeras de Latinoamérica al Cambio Climático. UJAT, UNAM, UAC, 492 p.
- Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers, y W.W. Behrens III, 1972. The limits to growth. Universe Books, A Potomac Associated Washington DC, 205 p.
- Mentaschi, L., M.I. Voudoukas, J.F. Pekel, E. Voukouvalas, y L. Feyen. 2018. Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, 8: 12876.
- Milan, A., R. Oakes, y J. Campbell, 2016. Tuvalu: climate change and migration, relationships between household vulnerability, human mobility and climate change. Report No.18. Bonn: United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), 80 p.
- Milillo, P., E. Rignot, P. Rizzoli, B. Scheuchl, J. Mouginot, J.L. Bueso-Bello, y P. Prats-Iraola, 2019. Heterogeneous retreat and ice melt of Thwaites Glacier, West Antarctica. *Science Advances*, 5(1):eaau3433.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington DC, 100 p.
- Monastersky, R., 2015. Anthropocene: The human age. *Nature*, 519(7542): 144-147.
- Moreno, A.C., 2013. Las comunidades prehispánicas en la región de Tabasco: límites territoriales y formas de comunicación. p. 1141-1156. En: J.M. Aldea Celada, C. López San Segundo, P. Ortega Martínez, M. de los R. De Soto García y F.J. Vicente Santos (Coord.). Los Lugares de la Historia Temas y Perspectivas de la Historia, Vol. 3. Hergar Ediciones Antema España, 1596 p.
- Nicholls, R.J., y A. Cazenave, 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, 328(5985): 1517-1520.
- Núñez Gómez, J.C., R. Ramos Reyes, E. Barba Macías, A. Espinoza Tenorio, y L.M. Gama Campillo, 2016. Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas*, 91:70-85.
- Ortiz-Pérez, M.A., 1994. Repercusiones del ascenso del nivel del mar en costas bajas 210 de planicies deltaicas. *Geografía y Desarrollo*, 11(2): 69-72.
- Ortiz-Pérez, M.A., C. Valverde, y N.P. Psuty, 1996. The impacts of sea level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast. 459-470 p. En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate Lomelí (eds.), Golfo de México, Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias, EPOMEX Serie Científica 5, Universidad Autónoma de Campeche, 666 p.
- Ortiz Pérez, M.A., y A.P. Méndez Linares, 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, 39: 68-81.
- Ortiz-Pérez, M.A., J.R. Hernández-Santana, J.M. Figueroa MahEng, y L. Gama Campillo, 2010. Tasas del avance transgresivo y regresivo en el frente deltaico tabasqueño: en el periodo comprendido del año 1995 al 2008, p. 305-324. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche, 514 p.

- Pacheco-Figueroa, C.J., 2014. Medición del estado de conservación de los humedales de la planicie tabasqueña, México. Tesis de Doctorado, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 117 p.
- Rahmstorf, S., 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, 315: 368-370.
- Ramos Reyes, R., L. Gama Campillo, J.C. Núñez Gómez, R. Sánchez Hernández, H. Hernández Trejo, y O. Ruíz Álvarez, 2016. Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. 13: 2551-2563.
- Rao, N.S., A. Ghermandi, R. Portela, y X. Wang. 2015. Global values of coastal ecosystem services: A spatial economic analysis of shoreline protection values. *Ecosystem Services*, 11: 95-105.
- Redman, C.L., 2005. Resilience theory in Archeology. *American Antropologist*, 107(1): 70-77.
- Rivera-Arriaga, E., 2017. La vulnerabilidad costera: elementos para la construcción de su resiliencia. p. 1-28. En: A.V. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. UJAT, UNAM, UAC, 476 p.
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F.S. Chapin III, E.F. Lambin, T.M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H.J. Schellnhuber, B. Nykvist, C.A. de Wit, T. van der Hughes, S. Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R.W. Corell, V.J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, y J.A. Foley. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461: 472-5.
- Schellnhuber, H.J., 1999. 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution. *Nature*, 402(6761 suppl.): C19-C23.
- Seyfert, C.K., y L.A. Sirkin, 1973. Earth History and Plate Tectonics: An introduction to Historical Geology, Harper & Row Publishers, Inc. USA, 504 p.
- Shaw, J.M., 2003. Climate Change and Deforestation: Implications for the Maya collapse. *Ancient Mesoamerica*, 14(1): 157-167.
- Tessler, Z.D., C.J. Vörösmarty, M. Grossberg, I. Glaskova, H. Aizenman, J.P.M. Syvitski, y E. Foufoula-Georgiou, 2015. Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science*, 349(6248): 638-643.
- Tudela, F. 1989. La modernización Forzada del Trópico: El caso de Tabasco. El Colegio de México, 475 p.
- Vázquez-Navarrete, C.J., E.E. Mata-Zayas, J.A. Rincón-Ramírez, y D.J. Palma-López. 2017. Servicios ecosistémicos y bienestar humano en la Reserva de la Biosfera de Pantanos de Centla, Tabasco, México: modelo de interacción. p. 297-320. En: Vulnerabilidad de las Zonas Costeras de Latinoamérica al Cambio Climático. A.V. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). UJAT, UNAM, UAC, 492 p.
- Vermeer, M., S. Rahmstorf, 2009. Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 106(51): 21527-21532.
- Western, D., 2001. Human-modified ecosystems and future evolution. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 98(10): 5458-5465.
- Woodroffe, C.D., K. Rogers, K.L. McKee, C.E. Lovelock, I.A. Mendelsohn, y N. Saintilan, 2015. Mangrove sedimentation and response to relative sea-level rise. *Annual Review of Marine Science*, 8:243-367.
- Yáñez-Arancibia, A., R.R. Twilley, y A.L. Lara-Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*, 4(2):3-19.
- Yáñez-Arancibia, A., y J.W. Day, 2010. La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero. p. 3-22 p. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México: un enfoque costero y marino, Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche, 970 p.
- Zavala-Hidalgo, J., R. de Buen Kalman, R. Romero-Centeno, y F. Hernández Maguey, 2010. Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas, p. 249-268. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche, 514 p.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Vulnerabilidad y riesgo socioambiental en localidades del Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche, México

M. Frutos C., E. Solano Palacios, R. Martínez B., e I. G. Escobar

Resumen

Laguna de Términos (LT) es una región natural y un espacio socialmente construido por sus habitantes desde su pasado histórico y contemporáneo. Ante la crisis ambiental planetaria y los posibles efectos por el cambio climático en ecosistemas frágiles acuáticos y terrestres, la población humana asentada en esta región atraviesa por situaciones de vulnerabilidad socioambiental, sea en localidades urbanas o rurales. Ante ello, se identificaron las problemáticas siguientes: 1) existe una población socio

ambientalmente vulnerable ante el cambio climático debido a las condiciones de precariedad socioeconómica que prevalecen en las localidades, principalmente en las de tipo rural y, 2) las condiciones materiales de la población en IT están vinculados a los problemas estructurales del desarrollo regional del sureste de México. En ese sentido, el objetivo de este capítulo es identificar algunas condiciones socio ambientales que permitan caracterizar la percepción del riesgo ante fenómenos del cambio climático (sequías, huracanes, lluvias intensas e inundaciones) en población vulnerable en la región de la laguna de Términos. Como conclusiones preliminares se puede advertir: 1) prevalece la relación que, a mayor índice de rezagos socioeconómicos, mayores condiciones de vulnerabilidad socio ambiental existe en la región y, 2) es necesario un nuevo y adecuado desarrollo regional sustentable para el sureste mexicano para enfrentar los riesgos del cambio climático, principalmente en las localidades insulares y rurales con población en condiciones de permanente precariedad.

Palabras clave: vulnerabilidad, percepción del riesgo, cambio climático, laguna de Términos.

Introducción

El objetivo de este trabajo es identificar la manera en que la población en la región laguna de Términos percibe el riesgo de vulnerabilidad socio ambiental ante fenómenos concernientes al cambio climático (fenómenos naturales como lluvias, huracanes e inundaciones). El contexto de este estudio se da en un Área Natural Protegida (ANP) denominada Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT), la cual abarca diversas localidades de los municipios de Carmen y Palizada, en el estado de Campeche, haciendo frontera con la comunidad de Jonuta en el estado vecino de Tabasco.

Desde la perspectiva teórica, se entiende por vulnerabilidad socioambiental al proceso complejo que incluye aspectos sociopolíticos y ecológicos; mide el riesgo y el daño que los procesos biofísicos y sociales pueden ocasionar a la población humana y a los ecosistemas. Por tanto, la vulnerabilidad constituye la interfase de la exposición

a amenazas al bienestar humano y la capacidad de las personas y comunidades para enfrentarlas. Así, en la vulnerabilidad humana se integran muchos problemas ambientales que tienen una dimensión social, económica y ecológica (Avila, 2008).

En este capítulo se asume la concepción de la percepción del riesgo por parte de las personas como la asociación de valores, actitudes y conocimientos relacionados con el riesgo en zonas de vulnerabilidad. Compartimos la idea de que cada forma de organización social está dispuesta a aceptar o evitar determinados riesgos pues “valores comunes conducen a miedos comunes”, como sugiere Douglas (1996). Y es que la población no ve los riesgos de la misma manera en que lo ven y analizan ciertos investigadores.

Se coincide en la necesidad de buscar un nivel de análisis más profundo y detallado a escala regional, a fin de entender cada una de las dimensiones que están asociadas al

problema del cambio climático (Álvarez y Tuñón, 2016). En ese tenor, se está de acuerdo en que efectivamente no son únicamente los huracanes, las inundaciones, los sismos, las sequías o las epidemias, lo que hace más vulnerable a la población de una zona determinada, sino son las condiciones de explotación del ser humano y la devastación de los recursos naturales, las causas de que diversos sectores vivan en condiciones de precariedad y a la vez sean los más vulnerables (Beraud *et al.*, 2009).

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO), es el empobrecimiento y el deterioro de las condiciones de vida de miles de familias mexicanas lo que ha evidenciado que hay sectores de la población que si bien no se encuentran en condición de pobreza, pueden ser consideradas como vulnerables debido a que disponen de insuficientes recursos para enfrentar y superar los efectos de las cambiantes circunstancias económicas o del propio ámbito familiar (CONAPO, 2001). Asimismo, en la sociedad actual el factor de integración social se diluye porque el trabajador asalariado ha perdido los derechos sociales que las instituciones del Estado proporcionaban, volviéndolo vulnerable ante el debilitamiento de ese soporte colectivo que es la identidad.

Ante la complejidad de la problemática a estudiar, esta región obliga a plantear una propuesta metodológica que integre aspectos cuantitativos y cualitativos en el análisis. Si bien cabe precisar que el estudio se presenta como un diagnóstico general, se está generando todavía información que refleja el impacto de los factores antrópicos (como la construcción de vivienda, deseca-

miento de manglares, deterioro de infraestructura, erosión de playas y la destrucción de cuerpos de agua) que están alterando el ecosistema local y regional, y exponiendo a la población a situaciones de mayor riesgo y vulnerabilidad.

Para comprender la complejidad en la que se encuentra actualmente la problemática en la zona de estudio, así como la falta de capacidades institucionales del Estado para generar un desarrollo económico sustentable, se aplicaron 405 cuestionarios con variables cuantitativas y cualitativas donde se midió la percepción de la población ante eventualidades por fenómenos naturales alterados por el cambio climático. Del mismo modo, se pretendió identificar las estrategias de adaptación que utilizan los distintos actores sociales en un proceso de reconstrucción de su entorno ante los riesgos ambientales.

Se parte de reconocer en un primer momento cómo esta región ha sido objeto de cambios en su ordenamiento territorial, mismo que ha conducido a modificaciones en su contexto sociodemográfico y económico. Posteriormente, en un segundo momento se plantea una serie de variables que se ilustran con mapas, como el índice de marginación, una escala de vulnerabilidad, el acceso a la salud, el rezago educativo y un escenario posible de inundación de localidades; finalmente recogemos la visión de los habitantes de tres localidades a partir de testimonios orales y mediante la entrevista grupal e individual, donde se muestra su experiencia previa, su contexto social y territorial, así como la percepción de los riesgos y las amenazas propias de cada localidad.

Laguna de Términos, un territorio socio-ambientalmente vulnerable

El Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT), es una denominación que recibió la laguna de Términos (LT) en 1994 como resultado de la presión social ejercida por actores locales, con la cual este territorio fue declarado una de las áreas de protección más importante del país y del planeta. La importancia de la Laguna radica en que es un espacio geo-histórico, social, cultural y geo-estratégico para el presente y futuro de la región sureste de México, razón por la cual el Estado mexicano ha instrumentado procesos de planeación territorial, que al menos desde finales de la década de los 80 a la fecha, ha buscado determinar su vocación y actividades productivas como la, ganadería, la pesca y la petrolera, entre otras (Solano *et al.*, 2015).

Laguna de Términos forma parte del estado de Campeche y es una de las áreas naturales protegidas de mayor extensión dentro del conjunto de áreas naturales protegidas del Corredor Biológico Mesoamericano, con aproximadamente 705 mil hectáreas (tabla 1).

Esta ANP posee importantes ecosistemas, principalmente humedales y bosques de manglar, además que se le considera como una zona de mayor volumen y extensión de los sistemas lagunares estuarinos del territorio nacional. Con su extensión de 705 mil 017 hectáreas (incluyendo los sistemas fluvio-lagunares asociados), recibe importantes cantidades de agua dulce que drenan de la península de Yucatán y la cuenca del Usumacinta (Chiapas y Guatemala).

La región es una de las zonas hidrológicas más importantes en el estado de Campeche, se ubica en la zona costera, entre el río San Pedro y San Pablo al occidente y el área de drenaje del estero de Sabancuy hacia el oriente. Se identifica como una importante área acuática y otra continental que alberga a localidades que históricamente se han asentado para el aprovechamiento de los recursos naturales que ahí existen. La pesca tradicional es una de las actividades productivas más representativas, ya que en las riberas de los diversos cuerpos de agua existen asentamientos humanos que ha hecho de ésta su forma de vida. Existen también la ganadería y la agricultura,

Tabla 1. Áreas Naturales Protegidas en el Corredor Biológico Mesoamericano.

Nombre	Entidad	Superficie (Hectáreas)	Año decretado
Cañón del Santa Elena.	Chiapas.	277 209	1994
Chan-Kin.	Chiapas.	12 184	1992
Laguna de Términos.	Campeche.	705 017	1994
Uayamil.	Quintana Roo.	89 118	1994
Yum Balam.	Quintana Roo.	154 ,052	1994

Fuente: Lomelí *et al.* (2000).

como actividades secundarias y otras de mayor importancia, como lo es la actividad petrolera, aunque esta impacta mayormente a Ciudad del Carmen, la cual concentra la mayor cantidad de habitantes con 169 mil 466, según datos censales del año 2010 (INEGI, 2010).

La región conforma un conjunto de hábitats críticos para especies de importancia comercial, así como para especies amenazadas, es una zona rica en biodiversidad, lo que ha propiciado que se genere un esquema de aprovechamiento de los recursos naturales por comunidades, predominando las rurales con altos grados de marginación. En tanto que Ciudad del Carmen, San Antonio Cárdenas, Nuevo Progreso, Atasta, Isla Aguada, Sabancuy y Palizada, se consideran localidades urbanas que funcionan como pequeñas áreas comerciales y de servicios. Las condiciones de vida de los habitantes son contrastantes, pues la presencia de la industria petrolera por un lado ha precarizado las zonas urbanas periféricas, con ausencia de planificación urbana y de servicios públicos, mientras que por el otro, encontramos sectores sociales que cuentan

con acceso ilimitado a los servicios públicos o privados (Frutos, 2013).

En las localidades en que se hizo el acopio de información ambiental, social y económica, la mayoría de éstas se caracterizan por su precariedad, tanto en lo material como en los servicios con los que cuentan. Fueron 16 localidades donde se aplicaron los 405 instrumentos, tratando de distribuirlos de manera proporcional en cada una de ellas, a razón de 20-25 por localidad: Ciudad del Carmen, Mamantel, San Antonio Cárdenas, 18 de marzo, Nuevo Progreso, Jonuta, Aguacatal, Pital Viejo, Puerto Rico, Isla Aguada, Atasta, Palizada, Nuevo Campechito, San Isidro, Miguel Colorado y Sabancuy.

Aun cuando las localidades se encuentran en una vasta cuenca hidrológica con límites naturales y que puede dividirse en cinco unidades ambientales (Pom-Atasta; Palizada-Marentes; Chumpán; Candelaria-Mamantel y Sabancuy), la población no recibe los beneficios que se supone deberían aportar estos ecosistemas. Los altos grados de marginación indican que aun y cuando la zona es rica en recursos naturales

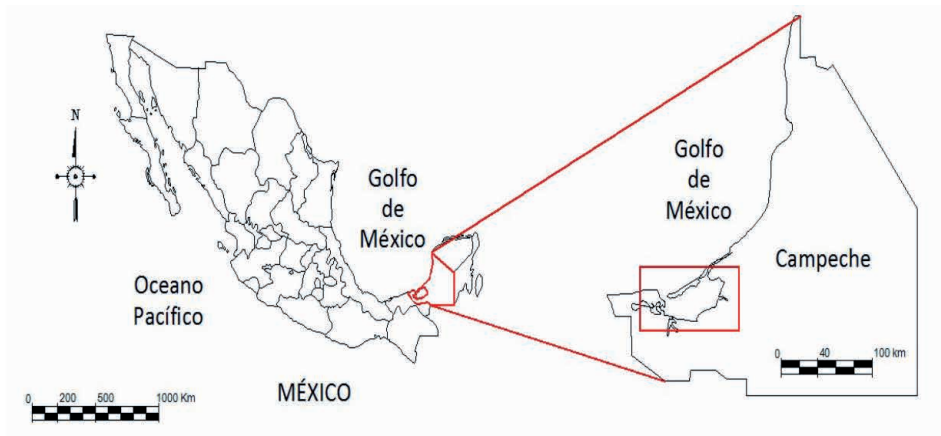


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

la población generalmente carece de acceso a una alimentación adecuada, de educación en los diferentes niveles, precariedad de las viviendas y bajos ingresos por las actividades productivas que se desarrollan; a esto se le suma los riesgos a los que están expuestos al ubicarse en una zona con una alta vulnerabilidad ambiental.

El inadecuado manejo ambiental es otro de los factores que son comunes en las localidades estudiadas, pues no existen esquemas de manejo de residuos; al no existir servicios públicos eficientes las personas se deshacen de éstos quemándolos o arrojándolos a los cuerpos de agua, lo que aporta efectos negativos al entorno e incide en los cambios en la atmósfera. La falta de drenaje para el desalojo de las aguas sanitarias tiene como receptor a los cuerpos de agua, que sin darles tratamiento son vertidos o descargados a esos cuerpos que son contenedores de las especies acuáticas.

Por otro lado, el desarrollo de proyectos productivos como el cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*), que ha impulsado el gobierno estatal en esta región desde el año 2014, ha traído como consecuencia la contaminación de los cuerpos de agua y de las áreas de cultivo en las localidades asentadas en esta área natural protegida. Este tipo de proyectos ha generado más problemas que alternativas de solución, en donde se deteriora el ambiente y también se agudiza la precarización de la calidad de vida de la población.

De manera particular, y por esa posición geoestratégica, la región de laguna de Términos ha sufrido impactos territoriales y socioeconómicos importantes a partir del auge petrolero que abrió a la producción de los yacimientos de hidrocarburos la sonda de Campeche. En consecuencia, se ha convertido en un espacio petrolero

cuya área de influencia rebasa los límites locales y regionales. El desarrollo de la industria petrolera en la sonda de Campeche en las tres últimas décadas ha dejado como herencia graves desequilibrios socioeconómicos intra-regionales en distintas escalas. La dinámica de cambio que ha generado desde su llegada, junto con la ausencia de una política oportuna de ordenamiento territorial integral, subordinó el uso de los recursos naturales y el desarrollo del resto de las actividades productivas a ella. Todo lo anterior ha desencadenado una profunda crisis ecológica de efectos difícilmente cuantificables.

Determinar la magnitud del daño que genera en los ecosistemas la industria petrolera, según sus diferentes componentes, como la extracción, transporte y refinación, es sumamente complicado en México, en parte, por la misma consistencia química de los hidrocarburos, pero también por la dificultad de acceder a la información oficial y a investigaciones científicas previas que permitan distinguir la variabilidad ambiental natural de aquella otra provocada por la perturbación antropogénica (Soto, *et al.*, 2014). Se sabe de la realización de muchos estudios acerca de la presencia del petróleo en el medio ambiente, principalmente costero, sin embargo, gran parte de esa información se encuentra en la llamada “literatura gris” (tesis, reportes técnicos, informes de proyectos o contratos de investigación o asesoría), que muy pocas veces es accesible o es considerada “confidencial” por el propio Pemex.¹

Ahora bien, se tiene la idea de que los grandes accidentes en el mar, como las explosiones de pozos, el hundimiento de buques o el desplome e incendio de plataformas, son la principal causa de que se vierta petróleo a los océanos; sin embargo,

este tipo de eventos contribuye relativamente con poco del total de petróleo vertido al lecho marino. Son las operaciones rutinarias asociadas al transporte marítimo del petróleo, como la carga y descarga del crudo, la conexión de tuberías, la limpieza de tanques, el agua de lastre, etc.; así como las emanaciones naturales conocidas como “chapopoterías”, las que aportan el mayor porcentaje de contaminantes a los ecosistemas del sureste mexicano (Reforma, 19 de abril de 2017; Carmen en línea 12 de febrero 2015).

Asimismo, la presencia de la industria petrolera en la zona del golfo de México ha tenido otros impactos socio-ambientales, hablamos de los efectos directos o indirectos, como sería el caso de la construcción de in-

fraestructura urbana o de comunicaciones (carreteras, puentes, tendido eléctrico), así como la excavación para el tendido de ductos y el dragado de canales para transportar maquinaria o personal (Gold *et al.*, 2000).. Esto ha causado la salinización de suelos y el cambio de los cauces de ríos y lagunas costeras, además, hay que añadir la destrucción o alteración de hábitats críticos, importantes por su valor para ciertas especies endémicas o en peligro de extinción. Otro impacto indirecto ha sido el aumento de la población en las localidades cercanas a Ciudad del Carmen, lo que ocasionó severos impactos ambientales por el incremento de la producción de desechos sólidos y aguas negras (Rodríguez y Bozada, 2011).

Las condiciones socioeconómicas y de vulnerabilidad socioambiental de las localidades en el Área Natural Protegida de Laguna de Términos

Al igual que su vecina, la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT) es una zona vulnerable ante el cambio climático. En una muestra de 16 localidades tanto urbanas como rurales, se levantó información para conocer la percepción que tienen sus habitantes en torno a fenómenos naturales como fuertes lluvias, huracanes, inundaciones, calor, sequías, vientos, así como los posibles riesgos a los que están expuestos.

Aunado a ello, se solicitaron datos socioeconómicos tales como tipo de vivienda, servicios de salud, educación, principal actividad productiva, así como ingresos y percepciones salariales, para contrastar la hipótesis de que ante las precarias condiciones socioeconómicas son mayores las situaciones de riesgo y vulnerabilidad socioambiental de los habitantes de las zonas urbanas y rurales del APFFLT.

Como ya se mencionó antes, el empobrecimiento y el deterioro de las condicio-

¹ Si bien existe una vasta literatura sobre la vulnerabilidad de las zonas costeras en México (Botello *et al.*, 2011), mayormente son estudios de corte cuantitativo, así como proyecciones que incluyen criterios ecológicos, no obstante, en los años recientes se ha incrementado el trabajo interdisciplinario en la región, lo cual permitirá tener análisis integrales de mayor utilidad sobre los riesgos de la población humana y los ecosistemas ante los eventos extremos del cambio climático en la región (Rodríguez y Bozada, 2011).

nes de vida en México han evidenciado que hay sectores de la población que pueden ser consideradas como vulnerables, debido a que disponen de insuficientes recursos para enfrentar y superar los efectos de las transformaciones sociales y económicas (CONAPO, 2001).

En ese sentido, se presentan de manera resumida los siguientes hallazgos:

- Del tiempo de estar viviendo en la localidad, poco más del 70 % de los encuestados manifestaron tener más de 10 años en la localidad, el 9 % entre 5 y 10 años y el 8 % entre 2 y 5 años. Esto indica que la población tiene conocimiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales del lugar.
- De las afectaciones por fenómeno natural, más del 60 % expresó que sí les afecta por el deterioro de las calles de la localidad, el 50 % se siente afectada por la caída de árboles y en el suministro de servicios básicos, tales como el agua potable y electrificación.
- En cuanto a las acciones que toman por alguna contingencia ante el riesgo por afectaciones de fenómenos naturales, más del 50 % tiene conocimiento que existen espacios como los albergues para protegerse ante la eventualidad a la que se exponen y que tienen que proteger documentos y cosas de valor (14 %), así como guardar la calma (10 %) como medidas preventivas.
- La mayoría dijo conocer algún tipo de albergue, como los espacios escolares (91 %) y el restante dijo que conocían albergues instalados por instancias gubernamentales (5 %).
- En el caso de la duración de las inundaciones, las cuales son más frecuentes por lluvias de “nortes” y huracanes, el 34 % manifestó que estas duran entre 1 a 5 días, y el 27 % consideró que pueden durar más de 15 días.
- Respecto a la altura que alcanzan las inundaciones en las zonas con mayor riesgo por lluvias, nortes o huracanes, éstas llegan a alcanzar en su mayoría hasta medio metro a un metro, considerando que el APFFLT forma parte de la planicie costera del golfo de México y se encuentra a menos de un metro sobre el nivel del mar (figura 2).
- Ahora bien, respecto a las medidas de protección y seguridad ante alguna eventualidad por riesgos de fenómenos naturales, los encuestados dijeron estar dispuestos en participar en brigadas de protección civil (69 %) que organizan las instituciones gubernamentales y un 19 % dijo no estar en disposición. Eso indica que hay un mayor interés de participación social ante eventualidades que afectan a toda la población, máxime que la región se encuentra en el paso de huracanes que nacen en el océano Atlántico en los períodos de mayo a noviembre de cada año (ver mapa).
- En cuanto a las características socio-económicas de la población encuestada en las localidades del APFFLT, éstas corresponden a las ocupaciones primarias a que se dedican los lugareños: los oficios (albañil, artesano, chofer), ser empleado público municipal (zona urbana) y jornalero o pescador en su mayoría en las zonas rurales; no obstante, en la región prevalecen actividades como la ganadería, la apicultura, la acuicultura, el ecoturismo y la industria petrolera, entre otras. Esta variable es de suma importancia dado que en el proceso de individualización (Beck, 1986) el riesgo se concibe de acuerdo a las cosas que el individuo hace, en lo que labora. Tam-

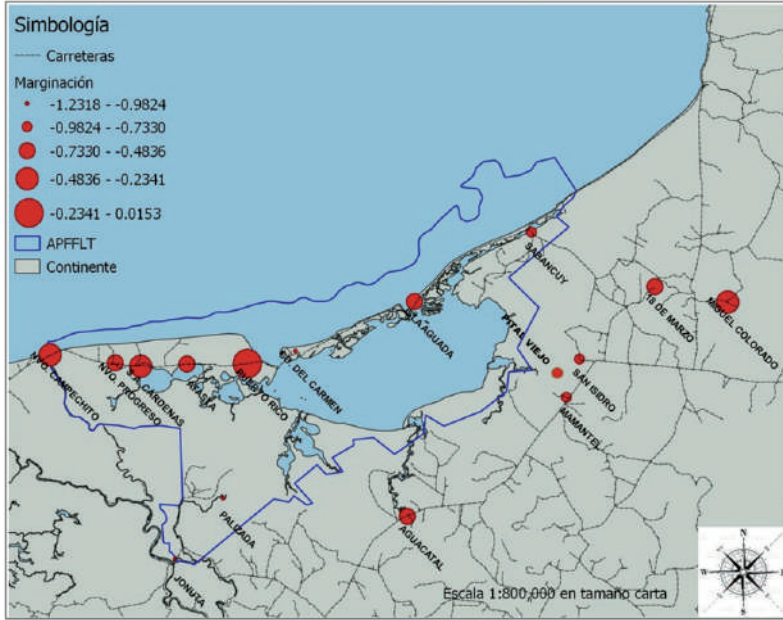


Figura 2. Índice de marginación en la región de laguna de Términos.

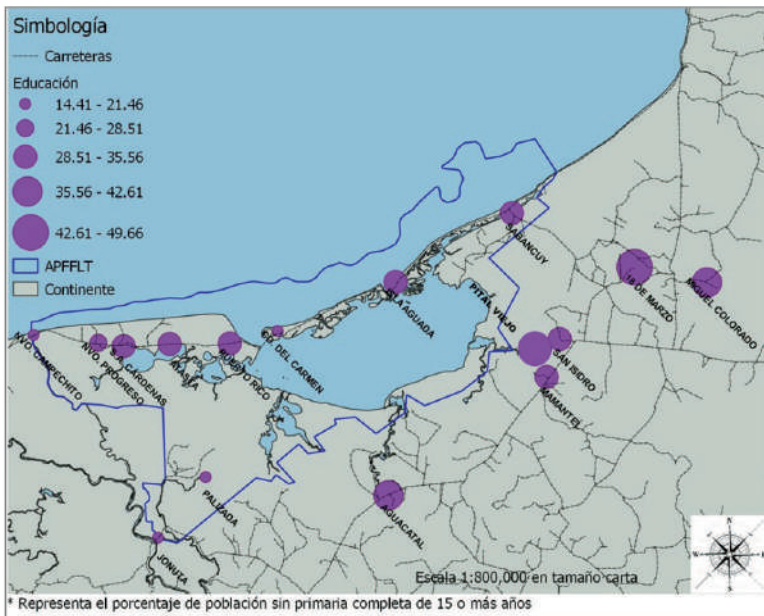


Figura 3. Rezago educativo en la región de laguna de Términos.

bién da cuenta de la incapacidad de una persona para aprovechar las oportunidades disponibles para mejorar su situación de bienestar o impedir su deterioro. Sin embargo, cuando se pone en juego las relaciones sociales, la categoría de riesgo se construye colectivamente.

- En cuanto a los datos del nivel de ingreso de los habitantes de la región, se encontró que aproximadamente el 50 % de ellos percibe un ingreso de menos de \$ 1 000 pesos semanales. Siendo esto una condición material precaria para enfrentar eventualidades ante el riesgo que generan los fenómenos naturales, tales como lluvias, huracanes, inundaciones, calor, sequías, vientos, entre otros. Ante esta condición de precariedad, se suma una situación de dependencia económica de “las dádivas oficiales” que da el gobierno a través de diferentes programas sociales. Una buen parte de las personas

reconocieron que reciben el apoyo del gobierno federal en programas como Oportunidades (82 personas) y Seguro Popular (96 personas). Sin embargo, se desconoce el apoyo del gobierno estatal y los correspondientes a los municipios de Carmen y Palizada.

- Entre los servicios con los que cuentan en las viviendas y que se verían afectados por una situación dramática de riesgo, el 70 % dijo contar con servicios de energía eléctrica, agua potable y comunicaciones (teléfono), y en menor escala, pavimentación de calles y seguridad pública. Lo anterior muestra que los servicios se reciben al interior de las viviendas, más no en los espacios públicos como las calles y parques de las localidades de la región.
- Finalmente, considerando las 16 localidades de la región se pidió a las personas que valoraran en una escala del

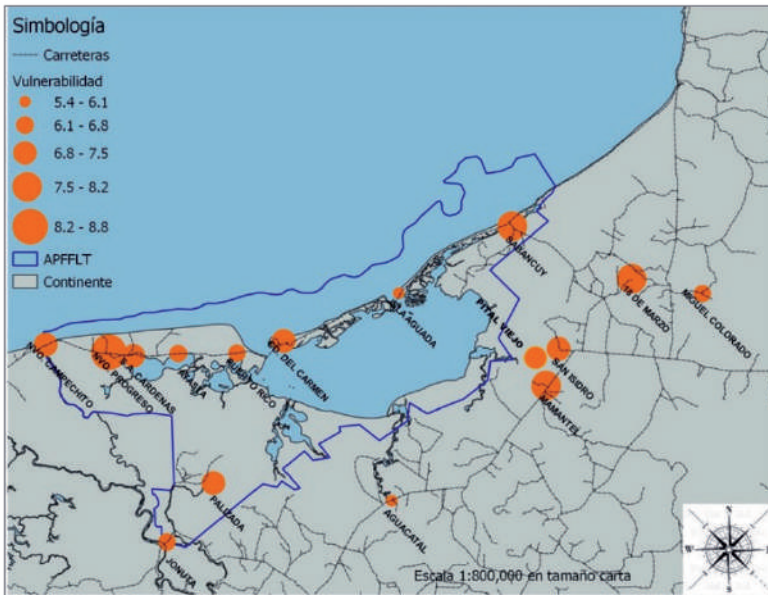


Figura 4. Índice de vulnerabilidad en la región de Laguna de Términos.

1 al 10 su exposición ante probables situaciones de riesgo, la que denominamos como la escala de vulnerabilidad (figura 5). El porcentaje de la población que se siente expuesta a los desastres repentinos (sucesos dramáticos), es del 50 % (200 personas). Una diferencia que cabe mencionar radica en la mayor

vulnerabilidad de quienes residen en las localidades rurales o en las colonias precarizadas de la zona urbana, pues las percepciones son muy distintas según el tipo de localidad de residencia (Bayón y Mier, 2010). Asimismo, esta percepción del riesgo se mantiene por temporadas entre tres y seis meses al año (figura 6).

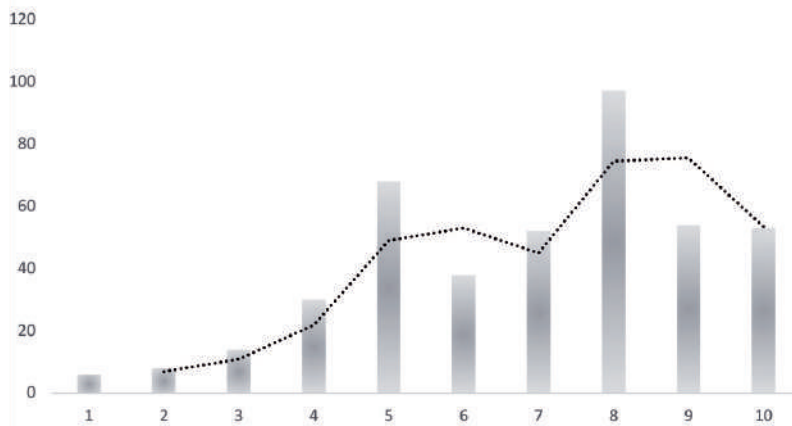


Figura 5. Escala de vulnerabilidad antes situaciones de riesgo en LT.

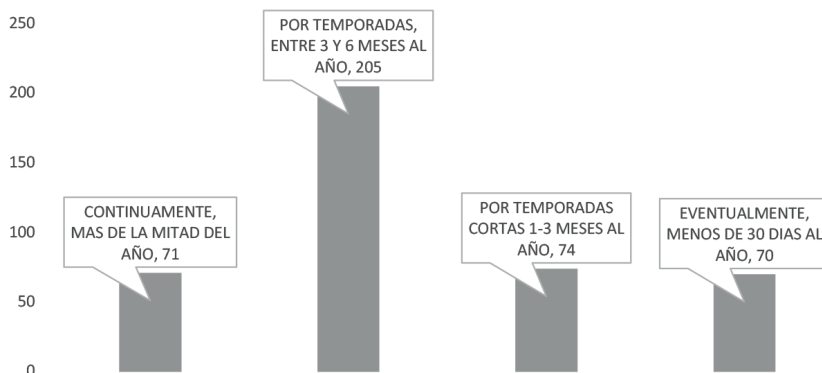


Figura 6. Frecuencia con la que se siente expuesto a los fenómenos naturales.

Mapeo de variables de vulnerabilidad socioambiental

Método

Para el mapeo de dos variables asociadas a la vulnerabilidad (marginación y educación), además de la vulnerabilidad misma, se creó una capa vectorial para la categorización de cada uno de los valores incluidos en su tabla de atributos. Como base de los mapas se utilizaron imágenes satelitales del sensor Sentinel 2, de la constelación COPERNICUS (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>), los cuales tienen una resolución de 10 m de píxel, y se utilizó el canal de ultra azul. Las imágenes fueron adquiridas por el satélite entre marzo y mayo de 2019, descargadas de la USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Con el fin de contextualizar los valores obtenidos durante la investigación de cam-

po y sus correspondientes análisis cuantitativos, se utilizaron las siguientes capas para construir mapas para el análisis de la situación respecto a la vulnerabilidad de las localidades estudiadas.

Resultados

A partir de análisis climatológicos para toda América del Norte, Weiss *et al.* (2011) recrearon las condiciones de territorio que se inundarían bajo escenario de incremento del nivel medio del mar de 1, 3 y 6 metros. Para fines de este análisis se presenta el escenario de incremento de 1 m (figura 7). Bajo este escenario la isla del Carmen quedaría a >1 m de profundidad, junto con las localidades de San Antonio Cárdenas, Atasta, Puerto Rico, Isla Aguada y Sabancuy. Esta

Tabla 1. Descripción de variables de vulnerabilidad en ANPFFLT.

Variable	Descripción	Fuente
Hidrografía.	Representación vectorial de los principales ríos en México.	Maderey-R. y Torres-Ruata (1990).
Vías de comunicación.	Representación vectorial de las carreteras y caminos principales en México.	SCT (2012).
Límite continental.	Representación vectorial del límite continental de México.	CONABIO (2003).
Áreas Naturales Protegidas (ANP) Federales.	Representación vectorial de los límites de las ANP federales.	CONANP (2018).
Incremento del nivel medio del mar.	Representación vectorial del territorio inundado en el escenario de incremento de 1 m del nivel medio del mar.	Weiss <i>et al.</i> (2011)
Zonificación eólica.	Representación vectorial de la intensidad de vientos máximos promedio por zona que son considerados peligrosos.	CENAPRED (https://alidrisi.xyz/inicio/geobases/atlas-nacional-de-riesgos-cenapred/), Consultado junio 2019.
Índice de vulnerabilidad por inundación.	Representación vectorial del Índice de vulnerabilidad por inundación por municipio en México.	
Precipitación.	Representación vectorial de la precipitación media anual por regiones en México.	Vidal-Zepeda (1990).
Probabilidad de ocurrencia de huracanes.	Representación vectorial de la probabilidad de ocurrencia de huracanes categorías 2 y 4.	CENAPRED (2010).

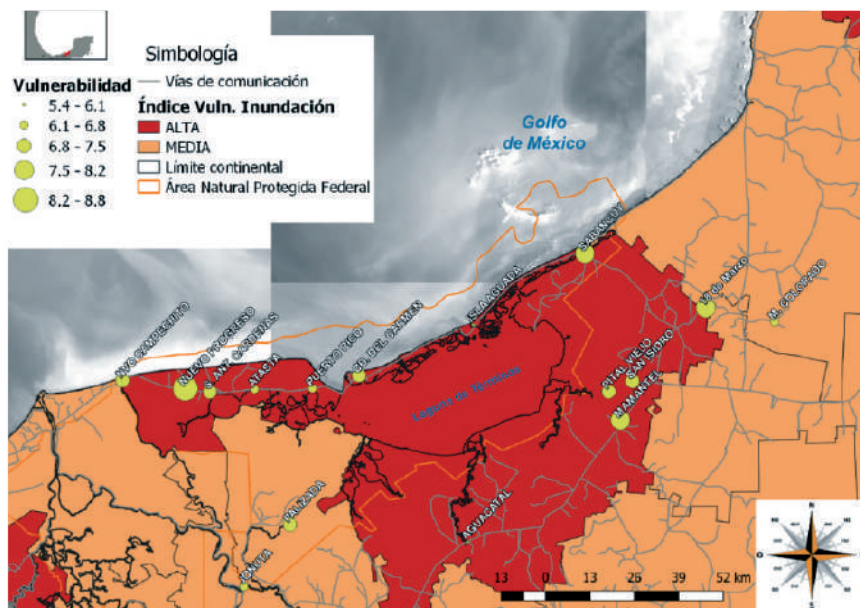


Figura 8. Representación espacial del índice de vulnerabilidad por inundación (CENAPRED 2018) por municipio en la región de estudio.

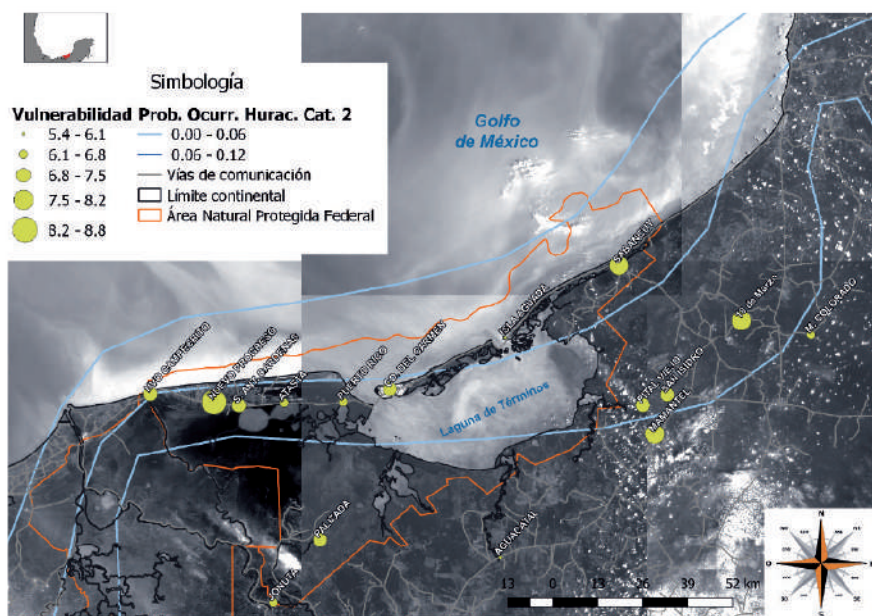


Figura 9. Configuración de la probabilidad de ocurrencia de huracanes de intensidad media, categoría 2, en el área de interés.

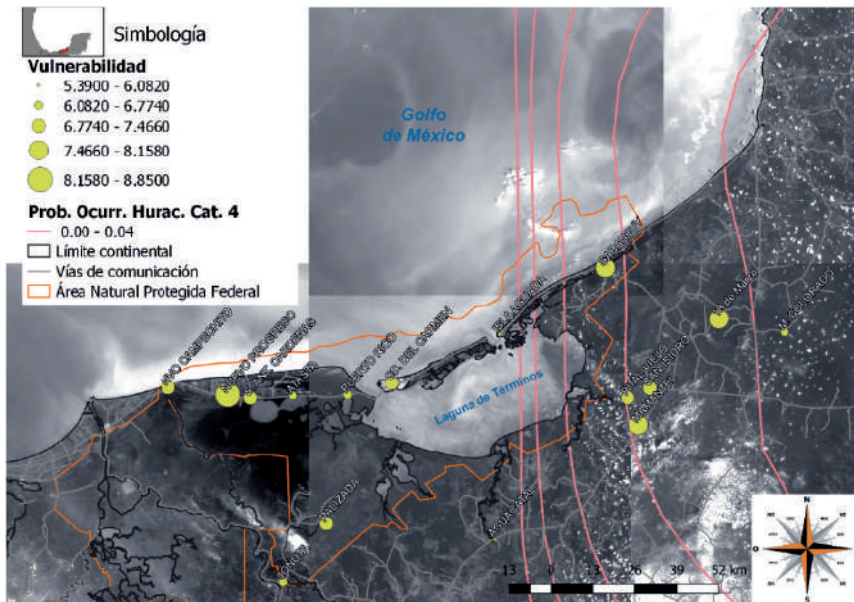


Figura 10. Configuración de la probabilidad de ocurrencia de huracanes de intensidad alta, categoría 4, en el área de interés.

La percepción social del riesgo ante el cambio climático, una mirada etnográfica

Existe el consenso científico acerca del carácter que el cambio climático tiene como parte de un acelerado proceso antropogénico y civilizatorio, en el cual está inmersa gran parte de la humanidad dado el irrefrenable consumo de productos derivados de restos fósiles. No obstante, no todos los grupos sociales ni todos los individuos han desarrollado capacidades culturales y colectivas que les permitan revertir los efectos de fenómeno climático. Esto se debe en parte, a los riesgos reales y los observados que como organización social o individuo se han enfrentado.

En ese sentido, la percepción de los individuos como sujetos o actores juega un papel muy importante, pues es a través de la experiencia, como ser antropológico, que

transmite y comunica su condición ante el ambiente a fin de preservar la vida (Ortiz, y Velasco, 2012).

Dentro del trabajo de campo, una de las necesidades a desarrollar como parte del acercamiento vivencial fue dar la pauta para vincular distintas realidades y campos sociales aparentemente aislados, pero cultural y estructuralmente relacionados como causa del desarrollo de distintas políticas económicas neoliberales que se han producido en las últimas décadas en el país y Latinoamérica. Se realizó una serie de entrevistas con actores clave, jóvenes y personas de la tercera edad, para apuntalar y esquematizar a partir de la historia oral distintas percepciones cotidianas compartidas.

Miguel Colorado fue una de las primeras comunidades visitadas, se ubica en el municipio de Champotón y se encuentra cerca de una zona transitada en el centro del estado, justamente por la carretera que va a Mérida y Chetumal, atravesando Escárcega. Tales condiciones espaciales han permitido promover en Miguel Colorado un proyecto ecoturístico, el cual según comentarios de algunos habitantes ha traído prosperidad económica y también ha promovido un discurso para promover y conservar flora y fauna.

El ejido de Miguel Colorado se ubica en una zona mayormente rural, en donde por décadas se han dedicado a la agricultura y a la apicultura, también como lo comentan algunos pobladores, hasta antes de la creación del Proyecto ecoturístico se dedicaban a la caza de animales y a la tala y venta de maderas.

En las nociones recogidas en las entrevistas en esta localidad, para algunos habitantes el cambio climático puede traducirse como el efecto sobre sus actividades productivas. En el caso particular de la apicultura es significativo señalar cómo el cambio climático es percibido como consecuencia de la deforestación y la tala voraz, además de que en las comunidades dedicadas a la apicultura se observa una reducción de la producción de miel y en las poblaciones de abejas. Un joven de 24 años nos compartió su percepción sobre los cambios que ha observado en su comunidad:

Aquí la gente se daba mucho a la apicultura, se sacaban un montón de tambores de miel, hoy en día, la gente solo saca un tambor o una cubeta, en ese sentido el cambio climático sí le ha pegado mucho

a los árboles, le ha pegado a las temporadas, se ha afectado mucho, pues antes los antiguos pronosticaban cuando iba a llover, ahorita, ellos pueden decir que va a llover, y llueve hasta diciembre, cuando antes no llovía, entran las temporadas de frente frío cuando antes no entraban, y se afecta la abeja, pues al tener mucho frío el polen se cae por el viento, y la verdad en ese sentido se ve afectada la apicultura” (entrevista a Nehemías en Miguel Colorado)²

Y como Nehemías, don Carlos, un anciano que ha sido representante ejidal nos cuenta su parecer sobre lo que observa y percibe de acuerdo a su actividad productiva: *“Ha disminuido la población de abejas y la cosecha, debido a la deforestación, ahorita mucha gente ha vendido sus parcelas, y vienen con tractores y deforestan y a nosotros nos daña bastante”*.

Con un discurso fundamentado bajo la experiencia de sus actividades a las cuales se ha dedicado por años, entre ellas la apicultura, don Carlos reconoce que el daño forestal ante la tala de árboles perjudica la producción de miel, y el ciclo de las abejas, además que la temperatura al aumentar producto del cambio climático desestabiliza el ritmo de vida de las abejas, además reconoce el grave daño de la empresa MONSANTO que siembra y contamina a través del maíz transgénico:

... sí esa empresa de los maíces transgénicos. Pues a partir de las asambleas que ha habido con los maiceros me he enterado que es peligroso ese MONSANTO, pero que es tan fuerte que no se le ha podido ganar...

²Estos testimonios provienen de diversas entrevistas cualitativas aplicadas a habitantes de las localidades rurales del Municipio de Carmen y Palizada durante el trabajo de campo realizado entre el mes de julio de 2017 y el mes de abril del año 2018.

Sobre los riesgos de contaminación de la miel ante las sustancias de MONSANTO, don Carlos señaló que su miel sigue siendo orgánica, y por ello aún la exportan a mercados europeos:

Este proyecto no ayuda a MONSANTO, y ayuda a que el daño sea menos, porque le da trabajo a la gente de acá, imagínese si no, todos fuésemos allá con esa empresa, cómo quedaríamos, nuestra miel se contaminaría, si bendito sea Dios, nuestra miel es orgánica y tenemos el mercado internacional abierto para Miguel Colorado” (entrevista a don Carlos en Miguel Colorado).

Como se ha insistido, las percepciones sobre vulnerabilidad son distintas según el tipo de localidad de residencia, asimismo, entre habitantes de comunidades e indicadores de una encuesta, el observador externo a una realidad (sea un científico o un agente gubernamental) identifica a partir de ciertos criterios las condiciones materiales de una población, aunque las representaciones subjetivas de los observados no sea la misma que la de los observadores, esta relación de significado no es independiente a los distintos discursos sobre desarrollo y progreso que las principales empresas transnacionales introducen en las comunidades para justificar sus proyectos de explotación, como en el discurso de don Carlos hacia Monsanto.

La violencia social y estructural como causa de factores de vulnerabilidad se manifiestan cuando surgen padecimientos y enfermedades que ponen en riesgo la salud humana, en el caso particular del Pital

Viejo, los casos de leucemia son una llamada de atención ante los posibles daños de contaminación química del suelo y el agua. Los habitantes manifiestan que desde hace seis años no cuentan con agua potable aun cuando existe la infraestructura hidráulica. Este problema tiene su origen en un conflicto burocrático entre los órdenes de gobierno municipal y estatal que dan como resultado el acceso al agua potable violentándoles su derecho constitucional al agua potable. Los riesgos de que esto sea posible no descarta que también los peces para el consumo humano se encuentren contaminados.

Al ser el río una fuente principal de subsistencia para varias localidades, se construye una situación de vulnerabilidad social, en tanto producto del cambio climático al no poder sembrar ante la infertilidad y agotamiento de las tierras. Campesinos y ejidatarios se ven obligados a ceder o rentar sus parcelas para la siembra de cultivos que pueden dañar el equilibrio biológico de los ecosistemas propios de la región, como la Palma de aceite (*Elaeis guineensis*). Este tipo de cultivo está cercano al cauce del río Mamantel y su impacto en el suelo agrícola y en los cuerpos de agua por las escorrentías naturales, favorece la depositación de partículas de agroquímicos generando un desequilibrio ambiental.³

El Pital Viejo es una localidad pequeña designada como rancharía al no superar los 700 habitantes. Se ubica cerca de la localidad de Mamantel y ambas pertenecen al municipio del Carmen; como otras comunidades de la región, se encuentran fuera de

³Algunos estudios específicos refieren precisamente que el cultivo de la palma aceitera impacta en las propiedades físicas y químicas del suelo para uso agrícola, debido a que se encuentran deficiencias y alteraciones en los valores de los macro y micronutrientes, aunado esto a un mal manejo de los ciclos de fertilización (Velázquez et al., 2013).

foco centralizador de la isla del Carmen, en dónde se concentra el circuito económico y burocrático del municipio. La situación anterior es importante ya que la mayoría de los recursos del municipio no han podido solucionar varias situaciones de vulnerabilidad social de los pobladores del Pital Viejo. Existe una severa contaminación ambiental hidráulica en el río que atraviesa ambas localidades causando rumores entre la población de ser la causa principal de cinco casos de leucemia en jóvenes que han muerto ante la ausencia de servicios de salud municipales.

Para llegar a la localidad no hay una infraestructura desarrollada, el camino de terracería obstaculiza la comunicación entre la ranchería y otras zonas cercanas. Al respecto, la comisaria municipal considera que es un problema importante ya que al presentarse situaciones urgentes de atender las respuestas “son tardadas” al no contar con una carretera. En Pital Viejo los habitantes se dedican principalmente a la pesca de tilapia y mojarra que venden en localidades cercanas e incluso en Ciudad del Carmen; generalmente pescan en las inmediaciones de la laguna de Términos o en el río que atraviesa la ranchería. Es preciso aclarar que los habitantes no pueden dedicarse a la agricultura de subsistencia debido a las condiciones infértiles del terreno, por lo cual la única actividad viable resulta la pesca.

Sin embargo, la pesca se ha visto severamente afectada por las condiciones químicas y ambientales de la zona, aunque los

habitantes siguen bañándose en el río y utilizando el agua —en algunas ocasiones para su consumo humano— esta actividad ha disminuido considerablemente, pues la comisaria nos cuenta que la gente sospecha que el agua del río se encuentra contaminada. Aunque no hay evidencia para comprobar esta sospecha, los lugareños comentan que algunas de las razones del deterioro de la pesca “*sea quizá por los cultivos río arriba y la forma en la que los producen y los riegan*”.

El cultivo de palma de aceite, también conocida como palma africana, es desarrollado en Campeche por la empresa Palmatica de México S. A. de C.V. una transnacional de origen costarricense, que pone de manifiesto la lógica económica imperante en la actualidad; la política pública del gobierno federal y estatal ha promovido la inversión de empresas como Palmatica de México S.A de C.V. que al estructurar un discurso de empleo y desarrollo para los habitantes de las comunidades seduce a autoridades y campesinos.⁴ Los riesgos por las operaciones de la empresa pueden observarse como alteraciones de los sistemas bioculturales, además que la tala indiscriminada de especies nativas y el uso sistemático de pesticidas y fertilizantes afecta a los ecosistemas.

En Palizada, según fuentes hemerográficas consultadas, existe también un latente conflicto socio ambiental protagonizado por la misma empresa Palmatica de México S.A de C.V. y pobladores y afectados por el uso inadecuado del suelo, beneficiando económicamente a la empresa, pero perjudicando ambientalmente a la región. Uno

⁴ Ante la oportunidad de mercado que presenta este cultivo perenne, se ha incrementado en 82 % la superficie establecida durante los últimos seis años, pasando de 49 581 hectáreas en el 2010 a 90 118 hectáreas en el 2016. Los estados que observan un mayor crecimiento en la superficie establecida, durante el mismo periodo, son Campeche, al pasar de 3 715 hectáreas a 23 328, y Tabasco, que pasó de 5 939 a 16 695 (El economista, 27/11/2017).

de los principales daños monitoreados es la contaminación del río Palizada, importante medio de subsistencia histórico y cultural de habitantes dedicados a la pesca, la agricultura y la ganadería. Asociaciones civiles y ambientalistas han organizado distintas actividades para visibilizar la problemática. Desde el año 2014 y con mayor intensidad en 2016, algunos medios de comunicación dieron cobertura a esta problemática.⁵

Pescadores de la zona del río Palizada, que comprende las comunidades rurales El Mangal, Tila, La Corriente, Las Bodegas, La Gómez, San Eduardo y Lagón Dulce, entre otras, mantienen temor por su salud, por la grave contaminación que pudiera estar dándose con el derrame de químicos que realiza la empresa costarricense Palmatica de México S.A de C.V, a través de sus canales primarios y secundarios en sus plantaciones de palma de aceite en el municipio.

Este es un ecocidio que se está generando por la empresa extranjera en contra del medio ambiente del municipio de Palizada, en la que se ha registrado la mortandad de peces en el arroyo "San Jeronimito" y la laguna "El Charcón", toda vez que a través de un canal de cinco kilómetros que construyó la compañía, derramó miles de litros de químicos, afectando a cientos hectáreas de pastizales, así como ocho mil reses que fueron evacuadas de la zona, plantas acuáticas y aves que tenían su hábitat en este sitio (Tabasco Hoy, 3/02/2016).

Podemos observar en la región un doble sentido de vulnerabilidad social, al no te-

ner condiciones de respuesta ante un poder económico y al padecer las consecuencias de la producción de palma de aceite. La vulnerabilidad social también es un asunto de salud pública, los casos de padecimientos de enfermedades relacionadas por la contaminación con agro tóxicos es una realidad que alerta y pone de manifiesto los problemas que padecen algunas comunidades, que, aun así, se ven forzadas a "aguantar" como un acto de resistencia.

La palma de aceite en términos monetarios se ha convertido en uno de los productos más rentables en la historia del sureste mexicano, se calcula que el rendimiento por hectárea de fruta fresca oscila entre 18 y 20 t/año (Velázquez *et al.*, 2013). Y debido a que la industria del arroz ha disminuido su producción, campesinos y productores comenzaron a sembrar la palma, haciendo un cambio de uso de suelo, que de manera económica les benefició (solo a algunos) pero ambientalmente ha impactado los ecosistemas y las prácticas de vida de habitantes que se dedican a la pesca o a otros cultivos, cuyas actividades dependen del riego de sus tierras proveniente del agua del río Palizada. Las empresas que se han introducido a sembrar palma de aceite, como Palmatica, hacen convenios por 20 años o más para crear grandes plantaciones.

Así pues, la violencia social y estructural se evidencia al encontrar los mecanismos de ocultamiento de la problemática, también es ejecutada por grupos de seguridad que defienden en este caso la producción de palma de aceite, como también los aparatos jurídicos que no responden ante los

⁵ En el mes de julio del año 2014 hubo una reunión sobre los impactos de las plantaciones de palma aceitera en la región de Palizada, donde se realizó un pronunciamiento por diversas ONG que se puede consultar en el siguiente link: <http://aestomas.org/reunion-sobre-los-impactos-de-las-plantaciones-de-palma-aceitera-en-palizada-campeche>.

posibles riesgos ambientales y sociales. Las experiencias socio ambientales observadas en la realización del presente trabajo no se encuentran desvinculadas del contexto contemporáneo de la crisis ambiental civilizatoria y del modelo de producción neoliberal, es un rostro regional del problema y de la lógica política y económica de las afectaciones sociales, ambientales y ecológicas.

El acercamiento empírico significó conocer distintas problemáticas relacionadas al medio ambiente y a grupos sociales en el sureste del estado de Campeche, el registro etnográfico y hemerográfico constituye un acercamiento que busca problematizar experiencias en las cuales se observa un latente panorama de malestar social. Las actividades económicas de gran envergadura como la producción de palma de aceite, la tala voraz de miles de hectáreas y la contaminación del suelo y cuencas hídricas, pone de manifiesto la situación de vulnerabilidad socioambiental de varias comunidades a lo largo del territorio cercano a la laguna de Términos, entre los estados de Campeche y Tabasco.

La experiencia ecoturística de Miguel Colorado nos habla de una de las salidas contemporáneas, que, apoyadas por programas institucionales, busca el uso y manejo de

los recursos naturales bajo discursos menos nocivos para las relaciones bioculturales. La situación de vulnerabilidad ambiental y social en la cual se encuentran los habitantes del Nuevo y Viejo Pital en el municipio del Carmen, es un ejemplo de las consecuencias tanto climáticas y sociales del uso inadecuado del suelo y la producción con agro tóxicos de ciertos monocultivos. Su producción y las distintas denuncias en torno a esta problemática en el municipio de Palizada, visibiliza un contexto regional propio de una fase de explotación neoliberal contemporánea.

El proceso de “acumulación por desposesión” (Harvey, 2004), generador del despojo de bienes comunes, privatización y la expulsión forzosa de comunidades que obliga a los campesinos y a los habitantes locales a formar parte de proyectos nocivos, se vale de la precarización de las condiciones de vida en la región y pone de manifiesto el poder de las empresas transnacionales para encontrar dispositivos, tanto jurídicos como políticos, para extender sus alcances. Además, visibiliza las formas de empoderamiento del mercado global en el sureste mexicano y la ausencia de certidumbre jurídica de las comunidades ante el poder económico de las empresas transnacionales.

Consideraciones finales

La zona costera del golfo de México constituye un rico reservorio de seres vivos y de recursos energéticos. Debido a su gran biodiversidad la región es considerada estratégica dentro de los programas nacionales de desarrollo social y económico. El descubri-

miento en la década de los setenta de los más importantes yacimientos de petróleo y gas del país en las tierras y costas del trópico mexicano, provocó que la región se convirtiera para Petróleos Mexicanos (PEMEX) y específicamente para el gobierno federal,

en un punto geoestratégico para dinamizar el desarrollo regional y nacional. Esto a su vez ocasionó un agresivo proceso de modernización con altos costos socio ambientales para la región.

En este contexto, en las micro regiones del municipio de Carmen se han producido condiciones sociales de riesgo que exponen a la población a situaciones de vulnerabilidad ante la probabilidad de sucesos dramáticos (desastres repentinos). Asimismo, aumenta la probabilidad de riesgo por estar asentadas en una zona costera que se encuentra casi al nivel del mar, factor que las vuelve todavía más vulnerables ante las repercusiones del cambio climático (erosión, incremento de la temperatura, inundaciones).

En cuanto a la percepción social del riesgo, en las localidades donde se hizo la exploración y de acuerdo a los resultados del instrumento aplicado, consideramos que existe una asociación positiva entre la experiencia vivida (en situaciones de inundaciones principalmente), el contexto social y el contexto territorial (condiciones de marginación).

La descripción de riesgos, específicamente los huracanes e inundaciones, nos permite aseverar que los habitantes de las micro regiones de laguna de Términos, que incluye los municipios de Carmen y Palizada, son significativamente vulnerables dada su condición de sectores precarizados y a las condiciones territoriales donde están asentados desde hace más de treinta años. Lo interesante es que entre la población este problema es reconocido ampliamente, pero solamente como un problema “de temporada”, lo que pone de manifiesto cierta “tolerancia al riesgo”. Lo que revela una especie de fatalidad asumida, pues como afirma Douglas (1996), la noción de

riesgo depende de la noción de justicia social e involucra cuestiones éticas y morales y, sobre todo en estos casos, de credibilidad institucional.

Los resultados arrojaron que sólo el 56 % posee conocimientos elementales sobre cómo actuar en casos de emergencia, mientras que el 60 % afirmaron tener actitudes y valores favorables a instrumentar acciones preventivas ante los riesgos.

Del mismo modo, en algunos habitantes el cambio climático no representa vulnerabilidad social, sin embargo, algunos elementos contingentes como los huracanes forman parte de su imaginario cultural, como consecuencia de la acción humana y la respuesta de la naturaleza ante ello. Y es que generalmente la vulnerabilidad de las comunidades es visibilizada por indicadores que estructuran a través de ciertas variables las condiciones humanas, por ejemplo, las inundaciones, la migración y la violencia.

Para concluir, compartimos la idea de una vulnerabilidad socioambiental ante el cambio climático de impacto diferencial vinculado con la desigualdad económica y política (Rodríguez, 2016). La vulnerabilidad se incrementará en las microrregiones del sureste en la medida en que las condiciones de exclusión se profundicen, sea por las limitaciones que las políticas públicas generan en las comunidades de baja resiliencia, como por la degradación de los servicios ecosistémicos.

Falta profundizar en las implicaciones del cambio climático en las localidades incluidas en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, y queda trabajo por desarrollar en torno a las políticas y programas de prevención y gestión de riesgo de desastres. El reto es fortalecer la organización y la participación ciudadana con el propósito de

acelerar las tareas y el proceso de toma de decisiones.

También es cierto que este modelo extractivista, abocado a explotar la riqueza natural de la región, lo que pone a prueba constantemente es la capacidad de resilien-

cia de la zona tropical, cuya combinación de altas temperaturas, densidad de vegetación, biodiversidad y patrones de circulación, debe absorber el impacto de los contaminantes aportados por los yacimientos petrolíferos (Soto *et al.*, 2014).

Algunas recomendaciones para los tomadores de decisiones

- Al determinarse la vulnerabilidad de las localidades de la región de laguna de Términos, es necesario la elaboración de diagnósticos que les permiten elaborar y/o replantear sus correspondientes Atlas o Mapas de Riesgos, así como sus respectivos Programas de Protección Civil que permitan garantizar el bienestar de la población; que protejan su vida y su patrimonio. En la elaboración de los Atlas de Riesgos se considera fundamental que los municipios de Carmen y Palizada ubiquen e identifiquen el tipo y grado de riesgos existentes de acuerdo con el origen natural de los mismos, tanto a escala municipal como de localidad. Se recomienda a los Sistemas Municipales de Protección Civil estar siempre alertas por la posible presencia de algún evento natural o antropogénico.
- Dado el manejo del fuego por las actividades agropecuarias, los propietarios o poseedores de predios que utilicen el método de roza-tumba-quema se deberán ajustar a lo que establece la Ley de Uso de Fuego en terrenos agropecuarios en el estado de Campeche (P.O. 25/mayo/2015) y al calendario para el uso responsable del fuego que divide en cinco regiones el territorio del estado de

Campeche. Para ello deberán tramitar los permisos de quemas correspondientes ante los Ayuntamientos de Carmen y Palizada, así como establecer medidas preventivas como es el abrir guardarrayas, avisar a propietarios de predios vecinos, tomar en cuenta la dirección del viento, quemar durante las primeras horas del día, cuando por lo regular la temperatura ambiental es baja, ahuyentar o reubicar a la fauna que se encuentre en el predio, entre otras medidas.

- Existe en la región de estudio un auge por el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) lo cual ha creado una alta expectativa ya en pleno desarrollo. En ese sentido los proyectos relacionados con ese cultivo deben ser presentados previo a su desarrollo ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales tal y como lo establece La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (DOF 28/Enero/1988) para determinar los impactos ambientales que pueden generar en los rubros de agua, suelo, flora y fauna, y con ello determinar su procedencia. En el caso de los proyectos que se han desarrollado sin la autorización correspondiente, deben de aplicarse las medidas correctivas

o sanciones por la violación del marco normativo. La evaluación ambiental tiene carácter preventivo, y en el caso de actos efectuados es aplicable la restauración del ecosistema o la reparación del daño de acuerdo a La Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (DOF, 7/Junio/2013)

- Debido al desarrollo histórico de actividades económicas en el territorio, en específico en los municipios de Carmen y Palizada, es necesario ordenar los espacios desde la perspectiva de la sustentabilidad, ambiental, social y económica. Para ello, estos municipios deben tener los ordenamientos ecológicos del territorio de sus circunscripciones para utilizar el uso del suelo de acuerdo a su vocación. La falta de este tipo de ordenamientos está generando una situación de anarquía y mal manejo de los recursos naturales. Por ejemplo, el cultivo de la palma aceitera está ocasionando diversos problemas debido a que no existen los instrumentos de planeación que induzcan al manejo responsable y sustentable de los ecosistemas en los que se desarrollan estos monocultivos. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (DOF, 28/Enero/1988) y su Reglamento en Materia de Ordenamiento Ecológico (DOF, 8/Agosto/2003) establece que el ordenamiento ecológico territorial es un instrumento de política ambiental cuyo objeto es “regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los re-

ursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos”.

- Es necesario y urgente resolver la problemática del suministro de agua potable en las localidades aledañas a la laguna de Términos y de manera específica en Pital Viejo y Mamantel Pueblo, ya que recae en los entes reguladores de este servicio en el Sistema Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Campeche y en el Sistema Municipal de Agua Potable del municipio de Carmen. Con ello se daría cumplimiento a la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 1/Diciembre/1992) y se cumpliría con el mandato constitucional en el que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado debe garantizar este derecho y la ley define las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines. La falta de agua potable está generando problemas de salud en habitantes de estas localidades que recurren a utilizar el agua del río Mamantel para satisfacer sus necesidades básicas, sin saber que existe un serio riesgo por el arrastre de contaminantes con metales pesados producto de agroquímicos y otras sustancias dañinas para el ambiente de la región.

Literatura citada

- Alvarez, G., y E. Tuñón, 2016. Vulnerabilidad social de la población desplazada ambiental por las inundaciones de 2007 en Tabasco (México). Cuadernos de Geografía. *Revista Colombiana de Geografía*, 25: 123-138.
- Avila, P., 2008. Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México. *Ciencias* 90: 46-57.
- Ayuntamiento de Carmen, 1992. Programa de Desarrollo Urbano. Ciudad del carmen, Camp.: Gobierno Municipal de Carmen. NO ESTA EN EL TXT
- Bayón, C., y M. Mier, 2010. Familia y vulnerabilidad en México: realidades y percepciones. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Beck, U., 1986. La sociedad del riesgo, hacia una nueva modernidad. Barcelona: Paidós.
- Beraud Lozano; Covantes Rodríguez, I. Piotr, y Beraud Martínez, 2009. Vulnerabilidad socioambiental en Mazatlán México. *Cuadernos Geográficos* 45: 31-62.
- Botello, A.; Villanueva, S.; Gutiérrez, J. & Rojas, J.L., 2011. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Campeche: UAC/UAM/UNAM.
- Carmen en línea, (12 de febrero de 2015). Hidrocarburos de Campeche provienen de emanaciones de chapopoterías. Obtenido de Carmen en línea: <http://www.carmenenlinea.com/noticias/campeche/hidrocarburos-de-campeche-provienen-de-emanaciones-de-chapopoterias/>
- CENAPRED, 2010. Probabilidad de ocurrencia de huracanes categoría 2 (H2) en México. Distrito Federal: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CONABIO, 2003. Límite Nacional'. Escala 1:250000. Extraído de Conjunto de Datos Vectoriales y Toponímias de la carta Topográfica. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- CONANP, 2018. Datos espaciales de las Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONAPO, 2001. Vulnerabilidad socio-demográfica en La población en México en el nuevo siglo. México: Consejo Nacional de Población (CONAPO).
- CONAPO, 2012. Índice de marginación por localidad 2010. México, CONAPO.
- Douglas, M., 1996. La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales. Barcelona: Paidós.
- Frutos, M., 2013. Marginación y violencia social en el Municipio de Carmen, Campeche (informe técnico). Ciudad del Carmen: Universidad Autónoma del Carmen. Recuperado el 2017, de http://www.researchgate.net/publication/262674770_Marginacin_y_violencia_social_en_el_municipio_de_Carmen_Campeche
- Gold, G.; Botello, A.; Licea, S. *et al.*, 2000. El petróleo: características e impacto ambiental. En A. Payán, F. X. Salazar, & L. Álvarez, Petróleo, medio ambiente y sociedad. México, Senado de la República: 23-37.
- Harvey, D., 2004. El nuevo imperialismo: acumulación por desposesión. Biblioteca CLACSO.
- INEGI, 2010. Censo de población y vivienda 2010. Aguascalientes: INEGI.
- INEGI, 2011. Anuario Estadístico de Campeche 2010 (1a ed.). Aguascalientes: INEGI.
- Ley de Aguas Nacionales. (1 de Diciembre de 1992). *Diario Oficial de la Federación*. México, México.
- Ley de uso de fuego en terrenos agropecuarios en el estado de Campeche. (25 de Mayo de 2015). Periódico Oficial del estado de Campeche. Campeche.
- Ley Federal de Responsabilidad Ambiental. (7 de Junio de 2013). Diario Oficial de la Federación. México.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (28 de Enero de 1988). Diario Oficial de la Federación. México.
- Maderey-R., L. E., y C. Torres-Ruata, 1990. Hidrografía. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 4000000. Hidrografía e hidrometría, IV.6.1 (A).
- Ortiz, B., y C Velasco, 2012. La percepción social del cambio climático: estudios y orientaciones para la educación ambiental en México. México, UI-Puebla-SEMARNAT.
- Perdomo, B., (27 de noviembre de 2017). La palma de aceite en el sureste mexicano (I). El economista. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/opinion/Palma-de-aceite-en-el-sureste-mexicano-I-20171127-0108.html>
- Reforma, (19 de abril de 2017). Atribuyen mancha en playa a chapopoterías. *Reforma*. Obtenido

- de <http://www.reforma.com/aplicacioneslibre/articulo/default.aspx?id=1094243&md5=69dff20dd92abf754e90623d2a5ebfda&ta=0dfd-bac11765226904c16cb9ad1b2efe>
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico. (8 de Agosto de 2003). Diario Oficial de la Federación. México.
- Rodríguez, D., 2016. Estado, vulnerabilidad y resiliencia social frente a desastres y cambio climático en México. p. 65-136 En D. Rodríguez Velázquez (Ed.), Gestión social de desastres, cambio climático y políticas públicas en el siglo XXI. México, UNAM.
- Rodríguez, P., y L. Bozada, 2011. Vulnerabilidad social al cambio climático en las costas del Golfo de México: un estudio exploratorio. p. 583-623. En A. Botello, Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático 2a ed. Tomo II. Campeche: UAC/UAM/UNAM.
- SCT, 2012. Red de vías de comunicación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2012', edición 1a. Distrito Federal: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Solano, E., M. Frutos, R. Martínez, y E. Hernández, 2015. Ordenamiento territorial y los nuevos esquemas de PEMEX en la Laguna de Términos, Campeche. p. 37-65. En Amador, E. & Frutos, M. (Editores), Problemas contemporáneos regionales del Sureste Mexicano. El caso del estado de Campeche. Puebla, Mariangel.
- Soto, L., A. Botello, S. Licea, M. Lizarraga, y A. Yañez, 2014. The environmental legacy of the Ixtoc-I oil spill in Campeche Sound, southwestern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*. Obtenido de <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2014.00057/full>
- Tabasco hoy. (3 de febrero de 2016). Río Palizada contaminado por empresa extranjera: pescadores. *Tabasco hoy*. Obtenido de <http://www.tabascohoy.com/nota/294777/minus>
- Velázquez, I., H. Pérez, R. Sañudo, R. Ruelas, y J. Félix, 2013. Impacto del cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq.*) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en la localidad de La Alianza, Mapastepec, Chiapas. *Revista Forestal Baracoa* 2: 85-91.
- Vidal-Zepeda, R., 1990. Precipitación media anual en Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México. México, Instituto de Geografía-UNAM.
- Weiss, J. L., J.T. Overpeck, y B. Strauss, 2011. Implications of recent sea level rise science for low-elevation areas in coastal cities of the conterminous U.S.A. *Climate Change*, 105: 635-345.

GOBERNANZA ADAPTATIVA

La Agencia Mexicana de Mares y Costas: estrategia para el desarrollo socioeconómico de los mares y costas mexicanas

J. R. Lara Lara

Resumen

En este capítulo se describen algunos de los temas prioritarios y estrategias que deberán desarrollarse para elaborar un Plan Estratégico de Desarrollo Sustentable y Sostenible (social, económico y ambiental) basado en el conocimiento científico, tecnológico y tradicional, de los mares y costas mexicanas, que ayuden a fortalecer el desarrollo social y faciliten la toma de decisión de los usuarios. Se propone crear una Agencia Mexicana de Mares y Costas que coordine y promueva una agenda de

investigación e implemente programas de monitoreo que generen datos, Información y conocimiento para mejorar las economías locales, regionales y nacionales basadas en el uso sostenido y sustentable de nuestros recursos marinos. Se describen algunos de los grandes retos socio-ambientales interconectados que enfrenta nuestro país, cada uno de los cuales tiene una dimensión marina importante con lagunas o vacíos de conocimiento y tecnologías que pueden ser abordadas desde el ámbito de las ciencias del mar, estos son: soberanía, seguridad, riesgos naturales, seguridad energética, seguridad alimentaria, conservación de la biodiversidad y salud de los ecosistemas y los impactos de los cambios ambientales globales. La agenda o crecimiento azul, el biocomercio y los clústers marino-marítimos son las grandes iniciativas de desarrollo en la agenda mundial de los océanos. Las áreas a desarrollar o fortalecer en la agenda mundial son: energía marina, producción de agua dulce (desalación), acuicultura, biotecnologías, minería de los fondos marinos, fármacos del océano, turismo costero, transporte y servicios marítimos y el desarrollo de infraestructura costera, tales como nuevos astilleros y puertos de cabotaje, entre otros. Una de las estrategias actuales para generar datos, información y después conocimiento, es el monitoreo (por medio de barcos, boyas oceanográficas, satélites, vehículos autónomos, etc.), que consiste en aquella actividad continua y permanente, que permita la formación de bases de datos para realizar diagnósticos y pronósticos a corto, mediano y largo plazo. Es urgente, también, fortalecer las instituciones académicas y la formación de recursos humanos en las áreas del conocimiento de frontera y la utilización de las tecnologías de punta; mejorar las estrategias de comunicación y difusión del conocimiento, para crear una cultura del mar. Una de las componentes para generar conocimiento es el financiamiento, el cual debe ser oportuno y continuo. En esta propuesta se plantean algunas de las grandes preguntas que debería de contener dicha agenda nacional de investigación y aplicación del conocimiento. Es prioritario que la actual administración promulgue la Ley de Mares y Costas e implemente la Política Nacional de los Mares y Costas de México, la cual se expidió el último día de la pasada administración (30 noviembre del 2018), para fortalecer la infraestructura física y humana, y ampliar las redes de monitoreo marino, para la generación de información y conocimiento para facilitar y enriquecer la toma de decisiones de todos los sectores de la sociedad, con el fin de lograr de una manera sostenida el anhelado desarrollo sustentable, que tiene como único propósito elevar la calidad de vida de toda la sociedad mexicana.

Palabras clave: agenda de los mares, crecimiento azul, costas y mares

Introducción

Los océanos determinan la química planetaria, gobiernan el tiempo y el clima, y además son la piedra angular de los sistemas que soportan la vida de todos los organismos de nuestro planeta. Los mares y costas son los mayores contribuyentes a la economía global y son fundamentales para el bienestar humano, a través de actividades económicas directas como el aprovisionamiento de recursos, o indirectas como sistemas de servicios ambientales (Botello *et al.*, 2010).

Por ejemplo, países que tienen una agenda de mares y costas, tales como Australia, proyecta para 2025, que el valor combinado de las industrias marinas australianas, tanto existentes como emergentes, y los servicios ecosistémicos serán más de 100 mil millones de dólares por año. En apoyo de la floreciente economía o crecimiento azul, es claramente de interés nacional garantizar que los recursos económicos, ecosistémicos y culturales de los ecosistemas marinos de México sean bien conocidos, usados sustentablemente y administrados cuidadosamente. Esta tarea solo se puede lograr con un mayor enfoque en las investigaciones marinas para promover el desarrollo industrial, las políticas públicas y en general el desarrollo social.

El mundo enfrenta desafíos significativos para el desarrollo social y económico sostenible; sus respuestas radican en el uso y la gestión sostenibles de los recursos marinos y el medio ambiente, mediante el desarrollo de una economía azul. Dicha economía es aquella en la que los ecosistemas marinos brindan beneficios económicos y sociales, beneficios que son eficientes, equitativos y sostenibles. Usados apropiadamente, los recursos marinos de un país pueden gene-

rar riqueza, alimentos, energía y medios de vida sostenibles.

La zona costera es un área de transición entre los ambientes marino y continental del planeta. Es reconocida como uno de los elementos más importantes de la biósfera, con una amplia diversidad de ambientes, recursos y una interacción intensa de ambientes y su balance, lo que origina ecosistemas con características únicas; climáticas, geomorfológicas e hidrológicas, que en conjunto crean sistemas sumamente productivos, sin embargo, vulnerables ante las presiones antropogénicas (IOC-UNESCO y PNUMA, 2016).

La Gestión Integrada de Costas y Océanos, denominada comúnmente como Manejo Integrado de Zona Costera (MIZC), se ha convertido en un tema prioritario tanto desde el punto de vista político y social como de investigación en diferentes escalas. La instrumentación de programas y planes de MIZC puede guiar y valorar el desarrollo sustentable de estos espacios; minimizar los impactos negativos de los sistemas naturales y ecosistemas generados por el proceso de desarrollo de estas zonas; proporcionar un marco para el manejo (UNESCO/ONU, 2002).

El gran interés sobre las zonas costeras y las oceánicas por parte de los principales organismos internacionales en las últimas dos décadas, se ha debido no sólo a que el hombre ha comprendido finalmente el papel esencial de las estas zonas para las sociedades, la economía y el ambiente, sino que los múltiples problemas ambientales que de manera creciente enfrenta actualmente la zona costera a nivel mundial (UNEP/ONU, 2005), ponen en riesgo y amenazan no sólo la diversidad biológica, sino el funcio-

namiento de los ecosistemas costeros (ciclos biogeoquímicos), que son el sustento y base de múltiples procesos productivos, de la economía a diferentes escalas, también son el sustento de múltiples servicios ambientales, así como una importante y esencial fuente del bienestar humano (WRI, 2001).

Uno de los instrumentos mundiales actuales, para medir la sustentabilidad y sostenibilidad de los océanos, es mediante la “agenda azul”, la cual tiene como objetivo mejorar el índice de salud de los océanos (ISO), cuyo propósito es crear conciencia al público sobre el estado de los océanos del mundo y servir como catalizador y guía para los tomadores de decisiones del sector privado y gubernamental, así como para implementar políticas efectivas que promuevan el bienestar y uso racional de los océanos (Comisión Colombiana del Océano, 2015).

Un océano sano es aquel que ofrece de manera sostenible una gama de beneficios para los humanos. Las diez metas públicas para medir la condición general de los océanos son: provisión de alimentos; oportunidades para la pesca artesanal; productos naturales; captura de carbono; protección costera; medios de vida y economías costeras; turismo y recreación; sentido del lugar; aguas limpias y biodiversidad (FAO, 2005).

Una nueva agenda para los océanos

“La Comunicación conjunta sobre la gobernanza internacional de los océanos es fruto de un amplio consenso sobre la necesidad de mejorar el marco de gobernanza de los océanos, reducir las presiones que sufren estos y utilizar sus recursos de manera sostenible. En ella se destaca asimismo que para lograr estos

objetivos es necesario un mayor conocimiento de los océanos” (Comisión Europea, 2016). Siguiendo esta tendencia, México deberá fortalecer sus estrategias en al menos tres ámbitos, para mejorar su gestión y uso de sus mares y costas:

- Mejorar el marco de gobernanza.
- Reducir la presión humana y crear las condiciones para que florezca una economía azul sostenible.
- Fortalecer la investigación y la obtención de datos e información, para generar conocimiento, para fortalecer la toma de decisión de los sectores usuarios (gobierno y sectores socioeconómicos).

La Comunicación conjunta forma parte de la respuesta a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, en particular el objetivo de desarrollo sostenible 14, “Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos” (Comisión Europea, 2016). Anteriormente se tenía una visión del océano como una fuente basta, capaz de remediar y absorber prácticamente una cantidad ilimitada de desechos, soportar el incremento de la población, las pesquerías y demás presiones de origen antrópico. Sin embargo, el 60 % de los ecosistemas marinos del mundo que sustentan los medios de subsistencia han sido degradados o se encuentran utilizados de manera insostenible (IOC-UNESCO y PNUMA, 2016).

Ante este escenario resulta prioritario generar y mantener esfuerzos para el desarrollo de datos, información y por ende conocimiento para el análisis de las relaciones entre los cambios ambientales globales (cambio climático, acidificación del océano y la hipoxia, etc.) los recursos vivos (biodiversidad) y el diseño de estrategias y métodos para incorporar dicho conocimiento a

los esquemas de administración y de manejo (López-Martínez, 2008).

Además de su evidente importancia económica, las zonas costeras, a pesar de cubrir aproximadamente solo un 20 % de la superficie de la Tierra, son el hogar de más del 50 % de la población humana total. Del mismo modo, los ecosistemas costeros proporcionan el 90 % de las capturas mundiales y son el hogar de casi el 80 % de las especies conocidas de peces (13 200 especies) (Rivera Arriaga *et al.*, 2004).

Al mismo tiempo, el océano permite el equilibrio climático al absorber alrededor de mil veces más calor que la atmósfera, por lo tanto, funge como un regulador en el cambio climático, mientras que los arrecifes y manglares protegen las costas al absorber al menos el 70-90 % de la energía de las olas generadas por el viento, evitando así pérdidas económicas para los desarrollos costeros (Rivera Arriaga *et al.*, 2004).

La aceptación de la importancia de incorporar la dimensión ambiental como indisoluble del desarrollo humano y, por tanto, dado que cada país tiene la responsabilidad primaria de lograr su desarrollo sustentable, se requieren herramientas y líneas de acción estratégicas que logren conciliar el desarrollo y bienestar de nuestros mares y costas.

Actualmente, tanto generadores de información como usuarios coinciden en destacar el enorme potencial que tienen los océanos y aguas continentales de contribuir a la seguridad alimentaria de una población mundial que se prevé alcance los 9 700 millones de habitantes en 2050 (FAO, 2005).

El mayor reto que enfrentamos actualmente como nación y como humanidad, es la administración correcta del uso de estas áreas de tal manera que las futuras generaciones puedan lograr el uso y disfrute de

sus recursos, sin comprometer la capacidad económica de la nación.

Esta propuesta propone crear una Agencia de Mares y Costas que coordine y promueva todas las actividades de investigación y fortalecimiento de la infraestructura para crear información y conocimiento que permita analizar los impactos naturales y antropogénicos a los ecosistemas costeros y marinos para contribuir en la generación de estrategias, políticas de adaptación-mitigación y finalmente reducir la vulnerabilidad de estas zonas ante los principales retos ambientales del siglo XXI.

Redefiniendo a México como una nación marítima

El presidente Adolfo Ruiz Cortines (1952-1958) puso en práctica el Programa de Progreso Marítimo al que llamó “Marcha al Mar”, con el objetivo de llevar a las zonas costeras los excedentes de la población del altiplano y lograr un aprovechamiento sustentable de los recursos marinos, además comprendía la creación y mejoramiento de 70 puertos, para hacerlos turísticos, pesqueros y de cabotaje. Hubo entonces un despegue de las cooperativas pesqueras, se creó la Comisión Nacional de Pesca, se privilegió la investigación y vino el auge de escuelas como los Centros Tecnológicos del Mar y las Técnicas Pesqueras.

Como ocurre comúnmente con muchos de los planes sexenales, esa marcha se detuvo y entró en una especie de letargo, el cual hasta la fecha seguimos siendo un país de “espaldas al mar”, con una economía marina sin explotar y sin fortalecimiento del desarrollo social de los 17 estados costeros de nuestro país.

La superficie de la zona económica exclusiva del país (2 715 012 km²), incluida la del mar territorial (231 813 km²), es

más extensa que la superficie continental de México (1 959 248 km²) (figura 1). De acuerdo con esto, tres quintas partes del territorio nacional están constituidas por zona marina, 17 estados cuentan con apertura al mar, representando el 56 % del territorio nacional donde 153 municipios presentan frente litoral y constituyen aproximadamente el 21 % de la superficie continental del país. La longitud de la costa del país sin contar la correspondiente a las islas, es de 11 122 km. En el litoral Pacífico y golfo de California se tienen 7 828 km y 3 294 km en el golfo de México y mar Caribe (CIMARES, 2011).

La dinámica poblacional de las zonas costeras de México sigue las tendencias mundiales en el alza de la demanda por bienes y servicios, además que registran las tasas de crecimiento poblacional más altas, y consecuentemente presentan proyectos de mayor alcance (Merino-Pérez y Velázquez-Montes, 2018).

En el año 2010 la población de los estados costeros mexicanos fue de 51 900 847 habitantes, 4,5 millones más que en el año 2005 y 7.25 millones más que en el 2000 y se estima que para el año 2030 aumente a más de 55 millones (CONAPO, 2006).

Debido a su ubicación geográfica y evolución geológica, el litoral de México presenta una gran diversidad de ambientes climáticos, oceanográficos y sedimentarios, esto ha originado una extraordinaria biodiversidad de ambientes marinos y costeros.

La privilegiada ubicación geográfica de México lo posiciona de manera estratégica entre los dos océanos más grandes del planeta, resguardando una gran riqueza natural que debe ser conservada (uso racional), permitiendo el bienestar de sus poblaciones presentes y futuras (WWF, 2018).

México es un país con un importante potencial de desarrollo, aprovechamiento social y conservación de la zona costera, sin embargo, tradicionalmente las autoridades



Figura 1. Porción marino-terrestre nacional Fuente: (INEGI,2003).

centrales no han abordado el desarrollo de esta región de manera integral y hasta hace poco se carecía de una política nacional con este enfoque (Ley de Mares y Costas) (Azuz-Adeath, 2008).

Las costas mexicanas enfrentan graves efectos de deterioro, no solo por las actividades que ahí se desarrollan, sino por las alteraciones que tienen lugar en el resto de la plataforma continental y que eventualmente tienen efecto sobre el mar. Dichos impactos están comprometiendo seriamente su integridad ecológica (Botello *et al.*, 2010).

Aproximadamente el 66 % del total de la producción agrícola en México se genera en los estados costeros (Merino-Pérez y Velázquez-Montes, 2018), si bien la importancia relativa en el PIB es baja, desde el punto de vista socio-económico resulta un sector fundamental. Otro de los ejes de importancia socioeconómica es el turismo, las zonas turísticas litorales frecuentemente se desarrollan en función de la belleza del paisaje natural, características litológicas, morfológicas y demás atractivos que generan desarrollo, y como consecuencia incremento poblacional que a su vez ejerce una mayor presión sobre los recursos naturales.

Principales retos ambientales y sociales para México

A continuación, se describen algunos de los retos que requieren atención prioritaria, y que sería deseable formen parte decisiva de la agenda nacional de mares y costas. Se presentan también las problemáticas ambientales más importantes que enfrenta el desarrollo sustentable del país y se incluyen de manera generalizada las líneas de acción para enfrentarlos.

De acuerdo al documento titulado “Estrategia Ambiental para la Gestión Integra-

da de la Zona Costera de México. Logros y Retos para el Desarrollo Sustentable 1995-2000” (SEMARNAT, 2000), entre los principales problemas que atañen a las zonas costera de México.

Problemas asociados con alteraciones físicas de los ecosistemas

- Pérdida de hábitat crítico en tierras de marea, dunas o acantilados, desaparición o disminución de humedales y ecosistemas marinos.
- Alteración de la geomorfología de la costa (pérdida de dunas y litoral por erosión y modificación del perfil costero) y mayor propensión a fenómenos naturales debido a la eliminación o el deterioro de la vegetación.
- Aumento en la vulnerabilidad de hábitats frente a la trasgresión marina por efectos del cambio climático global.

Problemas asociados a alteraciones por procesos de contaminación

- Contaminación de acuíferos y escurrimientos por lixiviación de vertimientos urbanos, agropecuarios e industriales, intrusión salina o alcalinización de acuíferos y suelo. Contaminación industrial, municipal y doméstica de eco-sistemas costeros y de mar adentro.
- Aumento de enfermedades gastrointestinales por ingestión de organismos infestados y/o ingestión accidental de agua durante actividades recreativas.
- Conflictos entre actividades productivas que demandan calidad de agua como insumo y las que utilizan acuíferos como cuerpos receptores de desechos.
- Riesgo de conflictos internacionales por contaminación transfronteriza, debido al transporte de contaminantes a través

de las cuencas hidrográficas internacionales.

Problemas por cambios de tipo funcional o estructural de los ecosistemas

- Cambios radicales en la estructura de comunidades de fauna acuática causados por la pesca selectiva, los cambios temporales o permanentes de parámetros fisicoquímicos o la introducción accidental de fauna exótica.
- Introducción de especies exóticas.
- Agotamiento de recursos y sobrepesca y baja productividad de algunas regiones, debido a la alteración de hábitats por eliminación de la vegetación circundante.

Crecimiento poblacional costero

La población se caracteriza por un rápido crecimiento y una distribución desigual en el territorio, esto debido a factores económicos, sociales, culturales y políticos, que en conjunto ejercen influencia en el medio geográfico (Padilla *et al.*, 2009). Si bien, la importancia de los puertos como puntos de conexión con todo el mundo es claro, el crecimiento poblacional en las zonas costeras presiona al ambiente marino principalmente a través de la construcción de infraestructura, la sobreexplotación de sus recursos y por la disposición de los residuos municipales, sin tratamiento o pobre tratamiento en sus aguas, lo cual aumenta la eutrofización.

También, las ciudades costeras funcionan como puntos equipados para el desarrollo turístico o la integración de puertos, ya que el crecimiento de muchas ciudades costeras comienza con la construcción de un puerto (SEMARNAT, 2016).

Las tendencias poblacionales se mantienen crecientes en la línea de costa con un porcentaje arriba del 1 % con respecto al resto del país. Se estima que para el año 2050 la población en los estados costeros de México será del orden de los 64.2 millones de personas (Azuz-Adeath *et al.*, 2011).

En México, una de las zonas más importantes que se encuentran dominadas por la actividad turística es la porción noreste del estado de Quintana Roo, donde se han desarrollado diversos proyectos de índole turística y ocupacional. En dicha región, el uso irracional de los recursos ha modificado el entorno natural a partir de la alteración que han sufrido los diferentes elementos que lo conforman (Pérez-Villegas y Carrascal, 2000), y desafortunadamente, la conservación del medio ambiente y sus recursos, han sido tradicionalmente incorporados como un obstáculo en la búsqueda de ganancias para las economías mundiales, nacionales, regionales y locales, aunque claro, hay excepciones. La naturaleza misma es el sistema de soporte vital de la economía, y al ignorarlo, podemos inadvertidamente dañarlo más allá de su capacidad de recuperarse (Merino-Pérez y Velázquez-Montes, 2018).

Sobrepesca

Los recursos pesqueros son los bienes más abundantes y valiosos que la franja costera ofrece para satisfacer las necesidades de una creciente población. Se estima que el 85% de las pesquerías del mundo se encuentran completamente explotadas o sobreexplotadas, sin mencionar los miles de millones de peces que mueren en la captura incidental cada año (WWF, 2017).

El sector pesquero en México cuenta con avances destacados en términos del recono-

cimiento de la importancia de la biodiversidad como eje prioritario e indisoluble de la productividad pesquera y acuícola, sin embargo, aún existen áreas de oportunidad que deben mantener y generar mayores esfuerzos para lograr la sustentabilidad de los recursos.

Cambio climático

El cambio climático (CC) actualmente se encuentra en una fase de acrecentamiento y se ha convertido en una realidad para todo ser humano, razón por la cual debe encontrarse en el primer plano del quehacer científico y político. El incremento de la temperatura del aire y los océanos, la disminución en los volúmenes de nieve y hielo y la elevación en el nivel medio del mar, inequívocamente reflejarán un severo impacto en los ecosistemas naturales, que económicamente se traduce en pérdida de capital natural y en la necesidad de invertir en compensar dichas pérdidas (Botello *et al.*, 2010).

Se prevé que la producción primaria de los océanos del mundo disminuirá en un 6 % para 2100 y en un 11 % en las zonas tropicales. En diferentes modelos se prevé que, para 2050, el potencial total de captura pesquera mundial podrá variar en menos del 10 %, dependiendo de la trayectoria de las emisiones de gases de efecto invernadero, pero con una variabilidad geográfica muy importante. Si bien los efectos serán sobre todo negativos en muchas regiones tropicales que dependen de la pesca, las oportunidades también existirán en las regiones templadas. Además, algunas proyecciones recientes revelan una disminución de la producción tanto marina como terrestre en casi el 85 % de los países costeros analizados, con grandes variaciones según su capacidad nacional de adaptación. Es-

tos hallazgos subrayan la importancia de responder al cambio climático coordinadamente en todos los sistemas alimentarios, a fin de garantizar que se maximicen las oportunidades y se reduzcan los efectos negativos, y para asegurar la provisión de alimentos y medios de subsistencia (FAO, 2018).

En México, las políticas para investigar y tratar de mitigar la problemática del cambio climático y sus consecuencias han sido mayormente en una escala federal; sin embargo, gran parte del conocimiento tiene una dimensión mucho más localizada.

Y si bien, se considera a México como un país vanguardista en el panorama de cambio ambiental global, ante los escenarios de cambio climático se considera indispensable resaltar las siguientes interrogantes: ¿cuáles son los programas de monitoreo marino desde lo local hasta el nivel nacional?, ¿de qué información disponemos para alertar, informar y concientizar a las poblaciones costeras?, ¿qué medidas de mitigación y procesos de adaptación son necesarios para afrontar dichos cambios? y ¿cuáles son los costos económicos y sociales que debemos afrontar, por no contar con información científica?, ¿cuáles son las oportunidades socioeconómicas que no estamos aprovechando?

Acidificación de los océanos

La acidificación oceánica (AO) resulta del exceso de CO_2 absorbido por los océanos. Cada año el océano absorbe cerca de una cuarta parte de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera incrementando su acidez (baja el pH) a medida que el CO_2 se disuelve en el agua de mar. Es así que, la AO es hermana del CC, ya que ambos provienen de la misma fuente, esto es, el incremento de las emisiones de CO_2 .

El Pacífico Tropical Mexicano es especialmente vulnerable a la acidificación ya que algunas regiones presentan valores de pH y saturación de aragonita (indicador de la facilidad para el depósito de carbonato de calcio por los organismos) por debajo de lo esperado para el océano global en 2100. De continuar esta tendencia, los arrecifes del Pacífico mexicano para 2030 no serán capaces de desarrollarse adecuadamente. El impacto potencial para México será enorme, considerando la multitud de servicios ambientales que provee este tipo de ecosistema (Reyes *et al.*, 2011).

Este cambio amenaza la salud de los océanos y el beneficio económico significativo que ellos proveen al dificultar a los organismos tales como los corales, moluscos, diversas especies de plancton e incluso vertebrados que vulnera el proceso de producción de sus conchas o esqueletos.

Por ejemplo, en 2005 la industria de moluscos de Estados Unidos estuvo a punto de perder cerca de 300 millones de dólares debido a un descenso en el pH del agua de mar de 8.1 a 7.6, lo que ocasionó la muerte de más de mil millones de larvas de ostión (UNESCO, 2017). Este antecedente pone en contexto la relevancia económica de actuar ante el proceso de acidificación.

En virtud de esta situación y de manera precautoria, las autoridades federales, estatales y municipales en México deben ser capaces de identificar los procesos de cambio asociados con la AO es necesario generar y mantener estudios de línea base, es decir, el estado del área de influencia objeto de evaluar posteriormente los impactos que, pudieran generarse o presentarse sobre los elementos del medio ambiente, para así, medir los valores actuales de pH y establecer las oscilaciones naturales propias de cada sistema. Este tipo de información se

debe generar mediante programas de monitoreo, que permitan determinar cambios temporales en las condiciones del mar.

Zonas muertas, eutrofización e hipoxia

Las zonas muertas en el mar son áreas donde existe exceso de nutrientes químicos (eutrofización) o falta de oxígeno (hipoxia), que evitan que la vida marina se mantenga; se crean por fenómenos naturales geoquímicos y por la acción directa del hombre (Ruiz-Vanoye y Díaz-Parra, 2015). Si bien, en cierta medida se trata de un fenómeno natural, como parte del proceso de remineralización en los océanos, el impulso dado por la acumulación de gases de efecto invernadero (como el CO₂), que calientan la atmósfera (CC) y así el océano absorbe más calor y estratifica la capa superior del mismo y esto reduce la mezcla y el intercambio de gases, son la causas principales de esta desoxigenación en curso en muchas partes de los mares y océanos de todo el planeta (Breitburg *et al.*, 2018).

Es así que, la hipoxia es el otro hermano de la triada CC y AO. Estos son los trillizos diabólicos, que, junto con los problemas de la disponibilidad de agua dulce y la invasión de los plásticos, son los llamados “quintillizos diabólicos”. Y vienen más hermanos, la acelerada pérdida de la biodiversidad marina, el aumento de la contaminación costera, el intercambio de genética planctónica debida al “agua de lastre” por el transporte marítimo, el incremento de los florecimientos algales nocivos (mareas rojas) que están creando zonas muertas extensas y más persistentes (Arellano-Aguilar *et al.*, 2016).

Estos procesos de escala oceánica son de importancia no sólo para entender la subsistencia de la zona de mínimo oxígeno

(ZMO), sino también para permitir realizar pronósticos de lo que puede ocurrir bajo la influencia de los cambios climáticos.

Las repercusiones económicas se perciben en el turismo costero y en la pesca, se estima que la hipoxia en el golfo de México representó alrededor de un descenso del 13 % en la pesca del camarón café, la magnitud de los impactos, fue tal que llevaron al colapso a las pesquerías de la región como resultado del uso de fertilizantes y pesticidas en las grandes planicies de los Estados Unidos.

Los impactos de los tres fenómenos son costosos, la prevención es más sencilla que la cura; se ha estimado que tan solo el impacto de la contaminación por nitrógeno en la Unión Europea cuesta entre 70 mil millones de euros (77 mil millones de dólares) y 320 mil millones de euros (350 mil millones de dólares) por año.

Contaminación por hidrocarburos

Los hidrocarburos son agentes contaminantes que tienen un gran impacto playas, agua, sedimentos, biota, rocas, arrecifes y en las comunidades mismas. Entre 2007 y 2012, PEMEX reportó 290 derrames anuales en promedio, con un volumen, también promedio, de 4 938 toneladas (Merino-Pérez y Velázquez-Montes, 2018).

Independientemente de las oportunidades estratégicas entre México y su riqueza petrolera, la nación posee antecedentes claros de desastres ecológicos, amenazas para el medio ambiente.

El derrame de petróleo “Deepwater Horizon” (también conocido como derrame de petróleo en el golfo de México y estallido de Macondo) es un desastre industrial que comenzó el 20 de abril de 2010 en el golfo de México en Prospecto Macondo, operado por la empresa British Petroleum,

considerado el derrame de petróleo marino más grande en la historia de la industria del petróleo y se estima que es 8 % a 31 % más grande en volumen que el anterior derrame de petróleo Ixtoc I. El gobierno de los EUA estimó la descarga total en 4.9 millones de barriles (210 millones de galones estadounidenses, 780 000 m³) (García-Liñan, 2017). Después de varios esfuerzos fallidos para contener el flujo, el pozo fue declarado sellado hasta el 19 de septiembre de 2010 (Browne *et al.*, 2015).

A partir de dicho desastre, México ha evocado esfuerzos para tener la capacidad de atender los riesgos que implica esta actividad. Se creó el Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGOM), cuyo principal objetivo es fortalecer la capacidad humana y la infraestructura científica y tecnológica de la oceanografía mexicana para abordar los retos y necesidades asociados a la exploración y explotación de hidrocarburos en aguas profundas del golfo de México.

Plásticos y microplásticos

Desde su invención, la producción mundial del plástico aumenta en forma exponencial. El 4 % del petróleo se destina a su fabricación, mientras que otro 4 % se emplea para el suministro de energía para fabricarlo.

México es un gran consumidor de plástico, recicla poco y es uno de los principales vertedores de residuos de plástico en basureros, ríos, lagos y océanos. Se estima que cerca de medio millón de toneladas de plásticos van a dar a los mares (Merino-Pérez y Velázquez-Montes, 2018). Equivale a un camión lleno de esta basura por hora. Este tipo de contaminación cuesta la vida de miles de aves, mamíferos y peces cada año.

La contaminación por plásticos y microplásticos son problemas globales que degradan los sistemas biológicos impidiendo funciones fisiológicas, el crecimiento y la supervivencia. Debido al aumento de plásticos en el mar y a la aceleración del cambio climático, grandes cantidades están llegando a las costas, ayudadas por los cambios en el nivel del mar, en el régimen de lluvia y en la velocidad del viento.

El actual incremento de la radiación solar favorece a la degradación más rápida de los plásticos, convirtiéndolos así en microplásticos (Andrady y Pegram, 1990). Los microplásticos son partículas de plástico de un tamaño menor a cinco milímetros que se encuentran como contaminantes en los suelos de todo el mundo.

Dentro del cuerpo de los animales, los microplásticos se acumulan y entran a la cadena alimenticia, donde pueden pasar de animal en animal hasta llegar al plato de los mexicanos. Los cálculos indican que los mexicanos podrían consumir, en promedio, 840 partículas de microplásticos al año, lo cual puede representar un problema para la salud (Rojo-Nieto y Montoto, 2017).

Así mismo, se resaltan acciones que a nivel internacional se han emprendido para solucionar el reto ambiental que supone la contaminación por plásticos en mares y costas, aunque no excluyentes de la porción

terrestre, resulta de un problema dependiente. México particularmente, se suma al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que lanzó en Bali, Indonesia, la campaña Mares Limpios, que busca la eliminación para 2022 de los productos plásticos, mismos que generan el 90 % de la basura marina en los océanos del planeta (ONU, 2017).

Invasiones biológicas

Las invasiones de especies no nativas constituyen uno de los mayores cambios ambientales globales que ocurren actualmente. Los impactos son enormes, tanto en términos ecológicos como económicos, causando la extinción de miles de especies y la reducción o pérdida de incontables ecosistemas y por otra parte incluyen grandes pérdidas económicas. Incluyen desequilibrios ecológicos entre las poblaciones silvestres, cambio en los ciclos biogeoquímicos y la modificación del hábitat, cambios en la estructura y composición de las comunidades así como en su funcionamiento, pérdida de poblaciones silvestres, degradación de la integridad ecológica de ecosistemas terrestres y acuáticos, tanto marinos como epicontinentales, reducción de la diversidad genética y transmisión de enfermedades que afectan la salud humana y la flora y fauna silvestres.

Agenda de investigación pendiente

A continuación, se describen seis grandes retos interconectados que enfrenta nuestro país, cada uno de los cuales tiene una dimensión marina importante con lagunas o vacíos de conocimiento y tecnologías que pueden ser abordadas desde el ámbito de las ciencias marinas:

- **Soberanía, seguridad, riesgos naturales:** mejorar la predicción oceanográfica operacional, mayor esfuerzo en la generación de datos hidrográficos a escala fina.
- **Seguridad energética:** apoyo para el desarrollo de recursos energéticos, particularmente gas natural líquido y energías renovables, mapeo y modelado para encontrar y desarrollar regiones para el secuestro del carbono.
- **Seguridad alimentaria:** investigación para apoyar el auge de la industria de la acuicultura y maricultura, generación de datos y herramientas para mejorar la gestión y el manejo de las pesquerías.
- **Conservación de la biodiversidad y salud de los ecosistemas:** apoyo para describir la biodiversidad en áreas inexploradas, desarrollar una comprensión funcional de las comunidades ecológicas de hábitats de fondos marinos y columnas de agua para encontrar y desarrollar esfuerzos nacionales en monitoreo ambiental y desarrollo de herramientas para predecir la naturaleza y las consecuencias de los cambios en la biodiversidad como resultado de la intervención humana
- **Retos ante cambio climático, la acidificación y la hipoxia:** refinar la comprensión de los impactos del aumento del nivel del mar, la temperatura del mar, entender el papel del océano como

sumidero de carbono, los impactos de la acidificación a los sistemas acuaculturales, los impactos de la eutrofización e hipoxia a las actividades pesqueras y socioeconómicas y diseñar estrategias de adaptación al cambio climático, la acidificación y la hipoxia.

- **Asignación óptima y sostenible de recursos:** abordar cuestiones críticas de gestión y políticas públicas, integrando la información social, económica y ambiental y desarrollar herramientas, habilidades y estrategias de manejo para fortalecer la toma de decisiones de una manera transparente, robusta y responsable.

Para enfrentar estos desafíos, México necesita invertir en los tres pilares tradicionales de la ciencia: observación, experimentación y modelado. Se requiere infraestructura para el proceso de la ciencia, que van desde tecnologías de observación, a través de plataformas tales como buques de investigación, sistemas de observación y monitoreo continuo e infraestructura experimental, para el manejo de datos e información y tecnologías de almacenamiento, manipulación y visualización. Se requiere una política nacional con un compromiso estable, sostenido y predecible para mantener, actualizar y transformar la infraestructura y los recursos humanos para garantizar que las inversiones en ciencia provean beneficios socioeconómicos de una manera sustentable y sostenible.

También, se requiere inversión en recursos humanos: capacitación, desarrollo de habilidades, mecanismos e incentivos para la colaboración. Finalmente, la inversión en la comunicación científica es necesaria para mejorar la aplicación y la aceptación

de la ciencia en las estrategias de política, legislación y regulación.

Monitoreo e investigación científica

¿Qué es monitoreo?, aquella actividad continua y permanente, que permita la formación de bases de datos para diagnósticos y pronósticos a largo plazo, que contribuyan a enriquecer la toma de decisiones. Las redes de monitoreo deben permitir un análisis sistemático de la información para entender un ambiente en evolución y generar el conocimiento para enriquecer la toma de decisiones y las estrategias de prevención para el bienestar de la sociedad y la sustentabilidad de los ecosistemas. También deberán contemplar la creación de bases de datos en línea y de preferencia en tiempo real con presentación accesible a la comunidad.

La academia está convencida de que la generación de información actualizada y de amplio rigor científico, ayudará a la comprensión de la problemática actual en mares y costas; un eje fundamental en las líneas estratégicas es el involucramiento de los actores municipales; puesto que las ciudades están directamente relacionadas con las causas de los impactos al medio ambiente: patrones de consumo y crecimiento poblacional.

Es responsabilidad del estado generar la información necesaria para el entendimiento de los procesos marinos y costeros que influyen en las actividades productivas del país. De la misma forma que el estado mantiene sistemas de monitoreo de otras variables ambientales (como el caso de las variables meteorológicas por parte del Servicio Meteorológico Nacional, o las sismológicas, por el Servicio Sismológico Nacional), es imprescindible que asuma la

rectoría del monitoreo a largo plazo de las variables oceanográficas de las zonas marinas y costeras del país.

Muchos países han desarrollado sustancialmente la gestión del conocimiento como herramienta, transformándolo en política de estado y asumiéndola como cultura general de los pueblos. En consecuencia, los países con capacidades marítimas han destacado en diversos campos de la oceanografía. Desafortunadamente, México ha estado ajeno a estos procesos de identidad moderna hacia los mares pese al gran valor patrimonial que tienen como cultura, historia y oportunidad de desarrollo.

La modelación de procesos oceanográficos y costeros basados en conocimientos sólidos puede generar soluciones a problemas y oportunidades vitales al urgente desarrollo sustentable del país.

Hasta ahora, los pocos programas de monitoreo marino a largo plazo en México están en decadencia o suspendidos, por ejemplo: el programa de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) (figura 2) que inicio en 1997 con el auspicio del Instituto Interamericano del Cambio Global (IAI), CONACYT y el Centro de Investigaciones Científicas y Educación Superior de Ensenada (CICESE) y CICIMAR y ha realizado más de 60 campañas oceanográficas, segundo en el mundo después de CALCOFI de los EUA (basado en la institución de investigación Scripps, SIO), está básicamente en espera por falta de recursos para operar el barco de investigación *Alpha Helix* (propiedad del CICESE) y recursos de operación para continuar con las investigaciones sobre la vulnerabilidad de los recursos marinos en la región frente a la península de Baja California, ante la variabilidad climática (fenómenos ENSO y la mancha) y cambio climático; el pro-

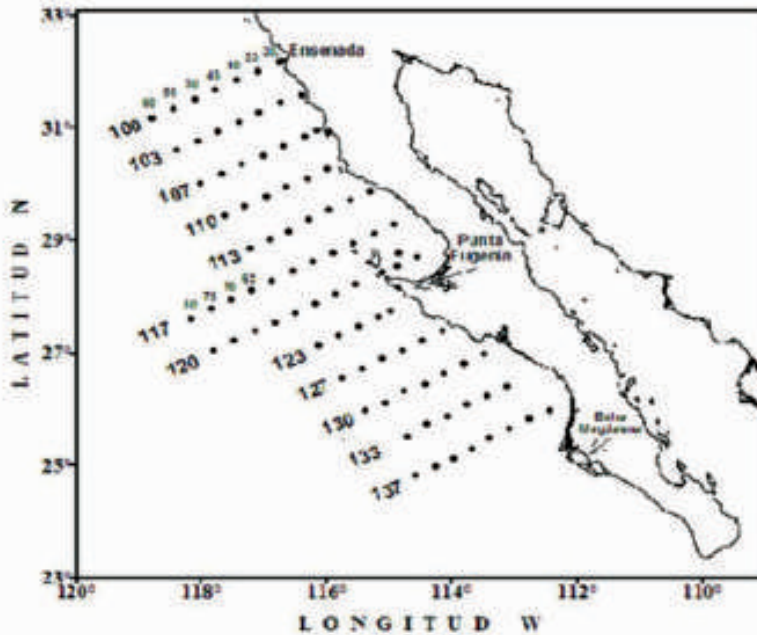


Figura 2. Plan de estaciones del IMECOCAL. Fuente: (IMECOCAL, 2011).

grama Flujos de Carbono en las costas del Pacífico Mexicano (FLUCAR) (figura 3) monitoreando desde el 2008 los flujos de carbono entre la atmósfera y el océano, y que ha generado la serie de información más larga en México, está suspendido por falta de recursos, para operar el sistema de boyas oceanográficas de monitoreo (BOC).

Desafortunadamente, estos programas de monitoreo nacieron y han sido mantenidos por los esfuerzos e interés de un grupo de investigadores, pero no por una política institucional de estado.

En cuanto al financiamiento, por un lado, al CONACYT nunca le han alcanzado los recursos para apoyar los proyectos y programas de investigación marina y por el otro, el estado sigue con políticas de espaldas al mar. Esto básicamente, ha creado una socioeconomía marina olvidada o perdida.

Hasta ahora, el único programa de monitoreo a gran escala es gracias al derrame de petróleo de abril del 2010 (Deep Water Horizon), que se cuenta con el apoyo financiero de la SENER-CONACYT para el desarrollo de investigaciones de monitoreo, bajo el Consorcio de Investigaciones del Golfo de México (CIGOM) (figura 4). Este es el programa de mayores recursos financieros que el CONACYT haya coordinado desde su existencia. Sin embargo, este terminará en el 2020. Y tenemos la incertidumbre si el apoyo financiero tendrá continuidad, para seguir entendiendo la vulnerabilidad del golfo de México ante futuros derrames de petróleo, y lo más importante, conocer cómo funciona y cuál es su resiliencia y cuáles serán las consecuencias socioeconómicas ante los potenciales impactos de la triada ambiental (cc, ao e hip) entre otros. El golfo de México consti-

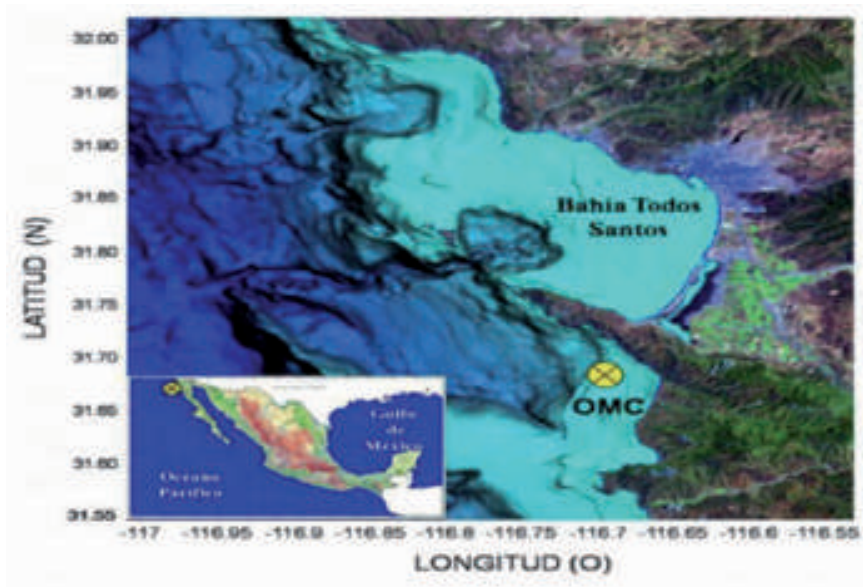


Figura 3. Ubicación de la Boya FLUCAR, estación Ensenada. Fuente: Proyecto FLUCAR, 2006. Fuente: (Coronado-Álvarez, 2013).

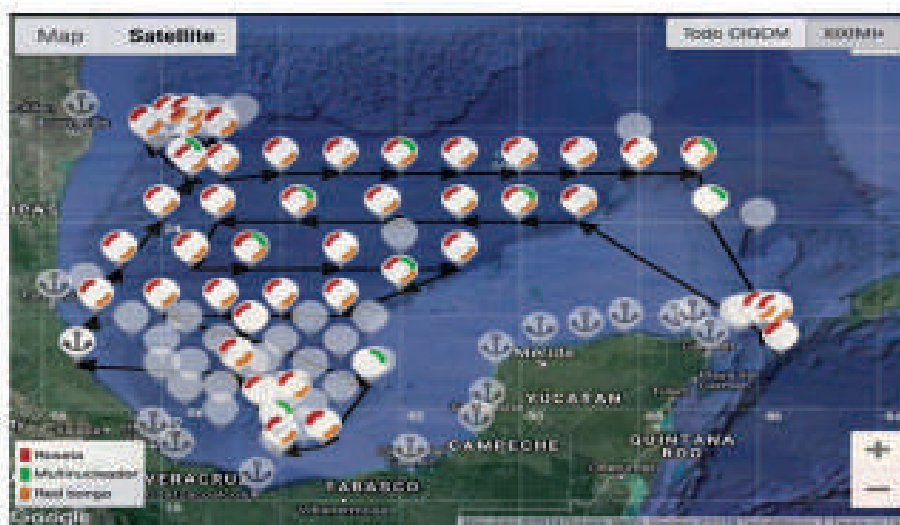


Figura 4. Plan de estaciones del CIGOM. Fuente:(COPO, 2019).

tuye actualmente cerca del 30 % del PIB de nuestro país.

Estos y otros programas de monitoreo a lo largo de las costas y mares de México, deberán ser parte una política nacional, que tenga recursos suficientes y asegurados para mantener y acrecentar la infraestructura humana y física, si México debe decidir apostarle al desarrollo socioeconómico basado en la Agenda Azul, y debe destacar el acceso a nuevas tecnologías de monitoreo como un eje básico para avanzar en la agenda de la información científica requerida para el país, así como líneas fundamentales de investigación.

A continuación, se presentan algunas de las preguntas relevantes a las que deberán dar respuesta dichas líneas de investigación, aunque no son excluyentes.

Estas deberán dar respuesta a las siguientes preguntas, entre otras:

- ¿Cuál es el funcionamiento (procesos y ciclos biogeoquímicos) de los ecosistemas costeros y marinos?
- ¿Cuál es el valor socioeconómico del capital natural y los servicios ecosistémicos de nuestras costas y mares?
- ¿Cuál es la vulnerabilidad ambiental y económica de los impactos de la variabilidad climática, esto es, el impacto de los eventos El Niño, La Niña y ahora la “mancha” o Warm Blob?
- ¿Cuál es la vulnerabilidad ambiental, económica y resiliencia de los recursos marinos y los servicios ecosistémicos ante los cambios ambientales globales, tales como el cambio climático, la acidificación de los océanos, la eutrofización, la hipoxia, la pérdida de la biodiversidad, el incremento de la contaminación, el incremento de la infraestructura costera, el cambio de uso de suelo de los litorales marinos, y la invasión de

los plásticos y ahora las poblaciones de sargazo?

- ¿Y cuál es la vulnerabilidad a escala local (municipal) y regional (estatal)?
- ¿Cuál es el costo socioeconómico de no invertir en los programas de monitoreo y generación de datos, información y conocimiento para fortalecer la toma de decisión de los usuarios?
- ¿Qué bases de datos deberán desarrollarse para promover el libre acceso a la información generada con recursos públicos?

Arquitectura institucional y gobernanza

La gestión de costas y mares en México es muy compleja, dado que resultan aplicables 42 leyes generales y federales, un número importante de leyes estatales y ordenanzas municipales, numerosas normas oficiales mexicanas e instrumentos internacionales, sin mencionar que allí ejercen sus atribuciones al menos 12 dependencias y 22 entidades paraestatales de la Administración Pública Federal, un número importante de secretarías estatales y unidades de las administraciones públicas municipales (Merino-Pérez y Velázquez-Montes, 2018).

Ante este panorama, la creación de una institución o consorcio de mares y costas, como la Agencia Mexicana de Mares y Costas, que está en la agenda de la Cámara de Senadores desde el 2012, que permita la coordinación y promoción nacional de la investigación oceanográfica y sus aplicaciones, favorecería la armonización y la coordinación de los recursos marítimos con los que cuenta el país, favoreciendo un desarrollo económico del país. La existencia de responsabilidades y jurisdicciones de tipo federal, estatal y municipal sobre la zona costera crea un panorama complejo. La fal-

ta de transversalidad de los programas de desarrollo entre secretarías, e incluso dentro de una misma secretaría de estado ha propiciado que en muchas ocasiones se llegue a conflictos, dada la incertidumbre jurídica

o la falta de claridad en las competencias de los diferentes órdenes de gobierno, lo cual ha generado un desorden histórico por la falta de integralidad en la gestión de esta estratégica zona (Azuz-Adeath, 2008).

Conclusiones y recomendaciones para tomadores de decisiones

Aprovechar el océano como fuente principal para el desarrollo fortalecerá la sustentabilidad y mejorará el bienestar de la población mexicana. Es un hecho que el futuro del país a mediano y largo plazo dependerá en buena parte del desarrollo de las zonas costeras y de las actividades productivas en zonas marinas. Es imprescindible generar conocimiento científico sistematizado sobre las variables y procesos físicos y biogeoquímicos en todos los ambientes que caracterizan a las costas y mares mexicanos. Es urgente implementar programas de oceanografía operacional en diversas regiones de nuestras costas y mares, que generen la información y conocimiento para fortalecer la toma de decisión de todos los sectores de la sociedad.

Las instituciones de investigación y educación superior en ciencias del mar tienen como misión la generación de nuevos conocimientos y la formación de recursos humanos. Sin embargo, salvo algunas instituciones, no tienen los recursos financieros ni la infraestructura física de campo y laboratorio para realizar los programas de monitoreo sistemáticos y permanentes de las variables ambientales y procesos biogeoquímicos de las regiones marinas y costeras. Frecuentemente, estas instituciones realizan grandes esfuerzos para mantener

programas de monitoreo y plataformas de observación.

No obstante, a pesar de las relativas limitaciones de la información científica y técnica disponible para México, debe ser una prioridad la concertación de esfuerzos para desarrollar capacidades de respuesta con mira nacional, pero sobre todo local ante las problemáticas de mares y costas. La integridad funcional de los ecosistemas marinos y costeros es indivisible de la seguridad de las personas, sus bienes materiales y culturales, así como las infraestructuras de desarrollo y aprovisionamiento de servicios. Por lo que es imperativo establecer sistemas de monitoreo e indicadores que auxilien en la capacidad de entender las presiones sobre los mares y costas.

Día a día se hace más evidente la urgencia de un mundo en donde todas las sociedades respeten y cuiden los océanos, acabar con la indiferencia, informar acerca del capital natural y de los servicios que provee, y respetar las características que hacen posible la vida en el planeta tierra. Los recursos marinos (capital y servicios) de nuestro país, tienen un papel de gran importancia para la economía azul de nuestra población, sin embargo, el inadecuado manejo y la falta de implementación de políticas públicas apropiadas, y las amenazas de los

cambios ambientales globales aumentan la vulnerabilidad de los socio-ecosistemas, de los mares y costas. Esto plantea nuevos retos para lograr el anhelado desarrollo sus-

tentable y sostenible para nuestra sociedad, y los mares y costas de nuestro país, pueden ser actores importantes para elevar la calidad de vida de la sociedad.

Literatura citada

- Andrady, A.L., y J.E. Pegram, 1990. Weathering of polyethylene (LDPE) and enhanced photodegradable polyethylene in the marine environment. *J. Appl. Polym. Sci.*, 39: 363–37. DOI: 10.1002/app.1990.070390213.
- Arellano-Aguilar, O., E. García, E. Thompson, y T. Reyes, 2016. Zonas Muertas: Los ecosistemas del mundo amenazados por la contaminación con fertilizantes. Laboratorio de investigación de GREENPEACE. Universidad de Exeter, Reino Unido.
- Azuz-Adeath, I.A., 2008. Infraestructura y desarrollo sustentable. Una visión centrada en la zona costera. Centro de Enseñanza Técnica y Superior, CETYS-Universidad, 279 p.
- Azuz-Adeath, I., E. Rivera-Arriaga, N.P. Muñoz, y A. Ortega-Rubio, 2011. Política Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas en México: Génesis y Gestión. *Región y Sociedad*. XXIII. 279-289.
- Botello, A.V., S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz., 2010. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.
- Breitbart, D., L.A. Levin, A. Oschlies, M. Grégoire, F.P. Chavez, D.J. Conley, y J. Zhang, 2018. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371). <http://doi.org/10.1126/science.aam7240>
- Browne M.A., M.G. Chapman, R.C. Thompson, L.A. Amaral Zettler, J. Jambeck, y N.J. Mallos, 2015. Spatial and temporal patterns of stranded intertidal marine debris: is there a picture of global change? *Environ. Sci. Technol.*, 49, 7082–7094
- CIMARES, 2011. Propuesta de la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. Política Nacional de Mares y Costas de México. Gestión integral de las regiones más dinámicas del territorio nacional. Recuperado en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001776.pdf>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2006. La situación demográfica en México. Recuperado de: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/La_situacion_demografica_de_Mexico_2006
- Coronado-Álvarez, L., 2013. Variabilidad de los flujos de CO₂ océano-atmósfera durante condiciones El Niño y La Niña (2010- al 2012), en las aguas costeras del norte de Baja California. Tesis de Maestría en Ecología marina. Ensenada, Baja California, México. CICESE. 65 p.
- Comisión Colombiana del Océano, 2015. Índice de Salud del Océano. Recuperado de: <http://www.cco.gov.co/indice-de-salud-del-oceano-ohi.html>
- Comisión Europea, 2016. Gobernanza internacional de los océanos: la contribución de la UE a la seguridad, la protección y la limpieza de los océanos y a la sostenibilidad de su gestión. Comunicado de prensa. Recuperado de: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-3619_es.htm
- Coordinación de plataformas oceanográficas (COPO), 2019. CiGOM Malla Fina 4 y Xiximi 7 (Fase 1). Recuperado de: <http://www.buques.unam.mx/campana/cigom-malla-fina4-y-xiximi-7/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2005. El estado mundial de la pesca y la acuicultura.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma.
- IMECOCAL, 2011. Derrotero (plan de estaciones. Recuperado en: <http://imecocal.cicese.mx/derrotero.html>

- INEGI., 2003. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Edición 2002. No. 61.
- IOC-UNESCO y PNUMA, 2016. Grandes ecosistemas marinos: situación y tendencias, resumen para los encargados de formular políticas. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Nairobi.
- López-Martínez, J. (Ed.), 2008. Variabilidad Ambiental y Pesquerías de México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México, 216 p.
- Merino-Pérez, L., y A. Velázquez-Montes (Coord.), 2018. Agenda Ambiental 2018: Diagnóstico y propuestas. Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones, Universidad nacional Autónoma de México. Recuperado en: <http://amerac.org/wp-content/uploads/2018/04/Agenda-Amb-UNAM-web-2-para-envio.compressed-1.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2017. PNUMA emprende campaña contra el plástico en los océanos prensa. Consulta en línea. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2017/02/1374211>.
- Padilla, L.S., M.D.C.J. Gutiérrez y E.P. Frejomil, 2009. Población y economía en el territorio costero de México.
- Pérez-Villegas, G., y E. Carrascal, 2000. El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal. *Investigaciones geográficas*, (43): 145-166. Recuperado en 26 de julio de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000300010&lng=es&tln-g=es.
- Reyes, H., M. Mozqueda, M. Torres, L. Calderón, y G. Díaz, 2011. La acidificación del océano y los arrecifes del pacífico mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur Departamento Académico de Biología Marina y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Departamento de Ecología Marina.
- Rivera Arriaga, E., G. J. Villalobos, I. Azuz Adeath, y F. Rosado, 2004. El manejo costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad de Quintana Roo. 654 p.
- Rojo-Nieto, E., y T. Montoto, 2017. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. Área de Medio Marino de Ecologistas en Acción. ISBN:978-84-946151-9-1
- Ruiz-Vanoye, J.A., y O. Díaz-Parra, 2015. Cúmulos de zonas muertas en el mar. Recuperado en: https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Ruiz-Vanoye/publication/270573363_Cumulos_de_zonas_muertas_en_el_mar/links/54c6551e0cf219bbe4f82a92/Cumulos-de-zonas-muertas-en-el-mar.pdf
- SEMARNAT, 2000. Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera de México. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2017. Costas y mares de México. Manejo integrado con amor. Recuperado en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD002471.pdf>
- NESCO/ONU, 2002. The role of indicators in integrated coastal management. International Workshop. Ottawa, April 29-May 1, 2002. Workshop Report. Intergovernmental Oceanographic Commission/UNESCO. 19pp.
- UNEP/ONU, 2005. One planet – Many people. Atlas of our changing environment. United Nations Environment Programme (UNEP), National Aeronautics and Space Administration (NASA), Science for a Changing World (USGS) & University of Maryland, USA. 320 pp.
- UNESCO, 2017. One Planet. One Ocean: The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Paris. 68 pp. IOC Brochure 2017-1
- UWRI, 2001. Re-thinking the link – People and ecosystems. World Resources Institute. Washington, D.C. 400 pp.
- World Wide Fund For Nature (WWF), 2017. Unidad Internacional de Sustentabilidad y Banco Europeo de Inversiones. Pesquerías insostenibles. Recuperado de: http://wwf.panda.org/our_work/oceans/problems/unsustainable_fishing/
- World Wide Fund For Nature (WWF), 2018. Unidad Internacional de Sustentabilidad y Banco Europeo de Inversiones. Declaración de los principios financieros de la economía azul sustentable. Recuperado de: https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/sites/maritimeaffairs/files/declaration-sustainable-blue-economy-financial-principles_en.pdf

GOBERNANZA ADAPTATIVA

Reducción del riesgo por desastres: breve descripción del FOPREDEN y el FONDEN en el contexto del modelo FMPEIR y de la gobernanza

César Vázquez-González

Resumen

Los efectos debido a la combinación del cambio de uso de suelo para el desarrollo habitacional sobre zonas no aptas por el riesgo que representan y la ocurrencia de eventos meteorológicos se han traducido en pérdidas económicas, sociales y daños ecológicos. De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres en Mé-

xico (CENAPRED), entre 1955 y 2002 las inundaciones por tormentas tropicales y huracanes causaron 4 000 decesos humanos, casi 4 millones de personas afectadas, y pérdidas económicas equivalentes a \$3.2 millones de dólares americanos (USD). A pesar de la elaboración del Protocolo de Hyogo con el objetivo de la Reducción del Riesgo por Desastres (DRR), en los últimos 20 años, tanto a nivel internacional como en México, las políticas y acciones dirigidas a la mitigación de los desastres, así como a las medidas de atención-emergencia, de rehabilitación y de recuperación-reconstrucción, han captado la mayor parte de los esfuerzos e instrumentos financieros diseñados para enfrentar los desastres. Además, en ambos casos, existe omisión en la incorporación de la sociedad en la elaboración, en la planeación y en la aplicación de las acciones para el manejo y para la gestión del riesgo. El objetivo del presente capítulo es realizar un análisis de la estructura del FONDEN y del FOPREDEN en el contexto del modelo de Fuerzas Motoras-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FMPEIR, DPSIR por sus siglas en inglés), y de la inclusión de aspectos de la gobernanza como la participación de las organizaciones civiles y no gubernamentales dentro de los instrumentos del FONDEN y el FOPREDEN.

Palabras clave: Prevención, atención-emergencia, rehabilitación, recuperación-reconstrucción.

Introducción

Los efectos debido a la combinación del cambio de uso de suelo para el desarrollo habitacional sobre zonas no aptas por el riesgo que representan y la ocurrencia de eventos meteorológicos se han traducido en pérdidas económicas, sociales y daños ecológicos (Costanza y Farley, 2007; Vázquez-González *et al.*, 2019). Costanza *et al.* (2008) estimaron que entre 1900 y 2000 las tormentas tropicales causaron 847 mil pérdidas humanas y \$179 billones de USD por pérdidas económicas. Además, las proyecciones realizadas por Hallegatte *et al.* (2013) estimaron que, para el año 2050 las pérdidas producidas en las 50 principales ciudades de la zona costera, serán entre \$60-63 billones de USD.

Los países en vías de desarrollo como México, son tan vulnerables como los países desarrollados y los costos económicos

y las pérdidas humanas también son altas. Con información del Centro Nacional de Prevención de Desastres en México (CENAPRED) (considerando la información existente para 15 años entre el periodo de 1965 a 2002), Salas-Salinas y Jiménez-Espinosa (2004) estimaron en 4 000 los decesos humanos y casi 4 millones de personas afectadas; además de pérdidas económicas evaluadas en \$3 260 millones de USD debido a las inundaciones generadas sólo por tormentas tropicales y huracanes. En estudios recientes, Vázquez-González *et al.* (2019) estimaron en \$150.85 millones de USD/precios 2007 las pérdidas económicas de los hogares afectados por las inundaciones del huracán Karl en 2010, en los municipios de Veracruz-Boca del Río-Medellín. Cabe señalar que, dicho estudio sólo consideró un grupo de Áreas Geoestadísticas

Básicas (AGEB) que fueron afectadas y sólo incluyó la evaluación de las pérdidas por enceres domésticos.

En un intento de reducir la tendencia mundial del aumento en la construcción del riesgo y en la atención de los desastres, la UNISDR (2005) concretó el marco internacional para la RRD en el cual se propusieron las medidas preventivas, de mitigación y de reconstrucción ante los desastres naturales. Más tarde, la UNISDR (2015) reconfiguró el Protocolo de Hyogo con la finalidad de establecer mayor peso en las medidas de prevención y de reducción del riesgo-materialización en desastres sociales como pérdidas humanas y económicas. A pesar de esos esfuerzos y del establecimiento de un marco internacional para el entendimiento común de la reducción de la RRD, Kellet y Caravani (2013) estimaron que en los últimos 20 años el financiamiento internacional para la RRD ascendió a \$13.5 billones de USD, en contraste con las medidas de respuesta-emergencia (riesgo materializado) que ascendió a \$100 billones de USD. Esto hace evidente la falla de los esfuerzos en la RRD y que el financiamiento de las medidas de respuesta-emergencia y de reconstrucción-rehabilitación han recibido mayor atención que las medidas de prevención y de RRD.

En el caso de México, la política pública construida con la finalidad de atender los Desastres Naturales está a cargo de la Secretaría de Gobernación (SEGOB) bajo el Sistema Nacional de Protección Civil. Para su operación, se constituyó el instrumento financiero conocido como “Fideicomiso Fondo de Desastres Naturales (FONDEN)”, cuyo objetivo es *“atender los efectos de los Desastres Naturales, imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad financiera de res-*

puesta de las dependencias y entidades paraestatales, así como de las entidades federativas” (SEGOB y Banco-Mundial, 2012). De esta forma, se intentó integrar un proceso entre las competencias, las responsabilidades y las necesidades de los diversos órdenes del gobierno con la finalidad de atender y coadyuvar en la recuperación de los efectos producidos por un fenómeno natural, de conformidad con los parámetros y las condiciones previstas en sus reglas de operación.

Sin embargo, al igual a que nivel internacional en Kellet y Caravani (2013), la política pública enfocada a la RRD en México está diseñada, principalmente, para la atención de emergencias y para la recuperación-reconstrucción. Mientras el FONDEN para la atención y la reconstrucción recibe el 0.4% del presupuesto federal —en 2000 ascendió a \$800 millones de USD—, el Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) recibió solamente \$25 millones de USD (SEGOB y Banco-Mundial, 2012). Además, los esquemas actuales del FONDEN y del FOPREDEN no incorporan elementos como elementos como la gobernanza de las comunidades rurales y urbanas con la finalidad de ser incluidas en la construcción de acciones; por un lado, de prevención del riesgo, y por el otro, de atención, de mitigación y de reconstrucción. El objetivo del presente capítulo es realizar un análisis de la estructura del FONDEN y del FOPREDEN en el contexto del modelo de Fuerzas Motoras-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FMPEIR, DPSIR por sus siglas en inglés), y de la inclusión de aspectos de la gobernanza como la participación de las organizaciones civiles y no gubernamentales dentro de los instrumentos del FONDEN y del FOPREDEN.

FONDEN y FOPREDEN

En el contexto del FMPEIR

En México se implementó el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) con el objetivo de prevenir, dar respuestas de emergencia durante los desastres y de la reconstrucción después de ocurrido el desastre. De esta manera, la SEGOB y Banco-Mundial (2012) consideraron a la gestión integral del riesgo como “el proceso de planeación, participación, intervención, toma de decisiones y diseño e implementación de políticas de desarrollo sustentable destinadas a: (i) entender las causas del riesgo; (ii) reducir el riesgo; (iii) mitigar el impacto social de los desastres, y (iv) fortalecer la capacidad de recuperación del gobierno y de la sociedad ante los desastres naturales”. Sobre la base de este sistema de planeación y de gestión integral del riesgo, México construyó su política pública enfocada a la RRD, a la atención de emergencias y a la recuperación-reconstrucción.

Con la finalidad de establecer las acciones específicas y la forma de su financiamiento, se construyó el instrumento financiero conocido como el FONDEN, el cual se divide en instrumentos complementarios como el FOPREDEN y el FONDEN. Mientras el primero está enfocado a la prevención de los desastres, el segundo está direccionado hacia la mitigación, atención y emergencia, rehabilitación y recuperación-reconstrucción (figura 1). Dentro del modelo FMPEIR de Kristensen (2004), estas medidas son el resultado de las políticas de respuesta. Las respuestas del FOPREDEN y el FONDEN en el contexto del protocolo de Hyogo (UNISDR, 2005, 2015) y del FMPEI para la gestión del riesgo se pueden clasificar de la siguiente forma: 1) prevención-RRD (antes), 2) atención-emergencia (durante), 3) rehabilitación (después-corto plazo) y 4) recuperación-reconstrucción (mediano y largo plazo).

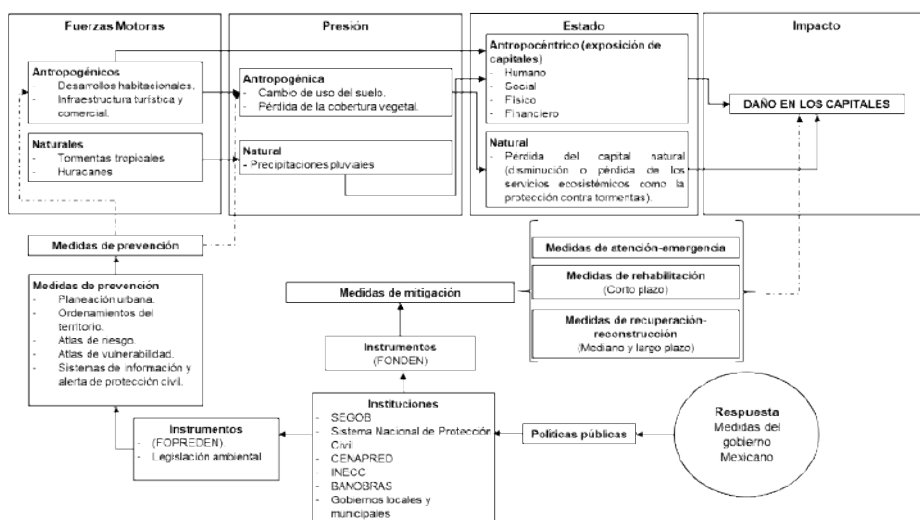


Figura 1. Marco conceptual del modelo FMPEIR tomado de Kristensen (2004) y adaptado para el análisis del FOPREDEN y del FONDEN.

En el caso de las respuestas para la prevención, éstas se dirigen (principalmente) a las fuerzas motoras (figura 1) y en el protocolo de Hyogo se contextualizan como medidas de financiamiento para la RRD (UNISDR, 2005, 2015). En el caso de las respuestas de atención-emergencia (durante) se dirigen a los impactos, es decir, una vez que el desastre se ha materializado en daños sobre el capital humano, físico, financiero, social o natural (figura 1). Por último, se encuentran las respuestas o medidas dirigidas a la rehabilitación (corto plazo) y a la recuperación-reconstrucción (mediano y largo plazo). Sin embargo, tanto a nivel internacional (Kellet y Caravani, 2013) como a nivel nacional (SEGOB y Banco-Mundial, 2012) se ha prestado mayor atención a las medidas de rehabilitación (corto plazo) y de recuperación-reconstrucción (mediano y largo plazo).

En México las medidas para la prevención y/o mitigación de desastres dentro del FMPEIR (figura 1) incluyen instrumentos como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Cámara-de-Diputados, 2014), los ordenamientos del territorio (Salinas-Escobar, 2008) y la ley General de Cambio Climático (DOF, 2012). También se pueden encontrar estudios sobre los impactos de las inundaciones (Salas-Salinas y Jiménez-Espinosa, 2004) y de los ciclones (Jiménez-Espinosa *et al.*, 2003); así como estudios sobre los impactos socioeconómicos de las inundaciones (García Arróliga *et al.*, 2006, 2012). Además, se han elaborado los Atlas de Riesgo (<http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/atlas.html>), y recientemente se publicó el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (González-Terrazas *et al.*, 2019).

A nivel local, Veracruz, Tabasco, Guerrero, entre otras, son entidades federativas propensas a las inundaciones debido a la combinación de factores naturales y antropogénicos. En el caso de los factores naturales; la ocurrencia de disturbios naturales como los huracanes y las tormentas tropicales provocan precipitaciones pluviales (Jiménez-Espinosa *et al.*, 2003), mientras que los factores antropogénicos son el cambio de uso del suelo y de la vegetación de ecosistemas cuyo resultado son las inundaciones y el impacto sobre la población (Vázquez-González *et al.*, 2019). Debido a esta problemática, en el caso de Veracruz se estableció el Programa de Acción ante el Cambio Climático (Welsh-Rodríguez y Tejeda-Martínez, 2010) y de acciones preventivas de protección civil ante la ocurrencia de desastres como las inundaciones (Gobierno-del-Estado-de-Veracruz, 2011).

Problemática: la gobernanza y la reducción del riesgo en México

Con base en Araujo (2004), “la gobernanza se puede entender como el proceso de dirección sociopolítica que integra todas o la mayor parte de las acciones de los actores sociales y gubernamentales, de tal forma que surgen redes interdependientes de actores con mayor grado de autonomía en las decisiones finales”. Por tal razón, la sociedad y las redes a través de las cuales interactúa para tomar decisiones y traducirlas en acciones concretas dirigidas a la gestión y la reducción del riesgo por desastres, toman un papel importante en las diferentes fases de la gestión del riesgo tal y como lo detalla el reporte Integrated Research on Disaster Risk (IRDR) (<https://council.science/what-we-do/research-programmes/thematic-or>

ganizations/integrated-research-on-disaster-risk-irdr/). En ese sentido, el FOPREDEN y el FONDEN, omiten la participación de los actores clave de la sociedad, de las zonas urbanas y de las comunidades locales en la planificación e implementación de las medidas de prevención, de atención-emergencia, de rehabilitación y de recuperación-reconstrucción (figura 1). Esto evita que interactúen entre sí elementos de la gobernanza como el compromiso, la capacidad de acción, la coordinación entre sí a través de una estructura flexible y descentralizada que permita una respuesta rápida y efectiva, y la representación adecuada en las diferentes etapas de la gestión del riesgo mostradas en la figura 1.

La falta de incorporación de los elementos de la gobernanza, arriba mencionados, disminuye la capacidad de respuesta y aumenta la vulnerabilidad de la sociedad ante la ocurrencia de disturbios como las inundaciones debido al desconocimiento y a la falta de la participación de la sociedad civil. Por ejemplo, el FOPREDEN, incluye instituciones como la SEGOB, el INECC, el Sistema Nacional de Protección Civil, el CENAPRED e instituciones a nivel local (estatales y municipales); sin embargo, omite la inclusión y la participación de la sociedad civil en la planeación y planificación de la prevención del riesgo a través de su participación activa

y direccionada en la elaboración de los Atlas de Riesgo y de Vulnerabilidad (SEGOB y Banco-Mundial, 2012).

En lo que corresponde al FONDEN, cuya finalidad es el financiamiento de las medidas de mitigación del riesgo, es decir, una vez que se ha materializado el desastre, las reglas de operación, su estructura y su puesta en marcha, omiten la participación y la toma de decisiones de la sociedad civil en las medidas de atención-emergencia, de rehabilitación (corto plazo) y de recuperación-reconstrucción (mediano y largo plazo). Desde la evaluación (pasando por la declaratoria de emergencia) hasta la asignación de los recursos financieros, la participación de la sociedad civil es prácticamente nula. De hecho, el comité técnico para la administración del fideicomiso está integrado por dos representantes de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, un representante de la SEGOB, un representante de la Secretaría de la Función Pública y un representante del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) (SEGOB y Banco-Mundial, 2012). Esto es síntoma de la falta de acercamiento entre las instituciones del gobierno y la sociedad; y conlleva al desconocimiento de la situación y de los daños reales debido al impacto de los disturbios naturales.

Recomendaciones

Medidas de prevención: FOPREDEN-FMPEIR-Gobernanza

A partir de la figura 1 se pueden clasificar las acciones generales preventivas en el FOPREDEN, las cuales son dirigidas a disminuir las fuerzas motoras-origen antropo-

génico. En el caso de las causas naturales, tal y como lo señalaron Cardona (1993) y Romero y Maskrey (1993), los desastres no son naturales, son producto de la combinación de la exposición de elementos humanos y naturales, de situaciones *ex ante*

como la vulnerabilidad y la ocurrencia de disturbios naturales; sin embargo, éstos son parte del sistema natural y se convierten en amenazas cuando existe una situación de riesgo debido a los componentes antropogénicos señalados. Por tal motivo, las medidas de gestión del riesgo son encaminadas a las causas antropogénicas. Por esta razón, al ser el resultado de las actividades humanas, los instrumentos diseñados para tratarlas deben integrar los elementos de la gobernanza como la participación de la sociedad en su elaboración y en su operación y aplicación (figura 1).

En la figura 1 se incluyeron las causas antropogénicas como los desarrollos habitacionales y la infraestructura comercial y turística. Sin embargo, actividades como la agricultura, la ganadería y cultivos intensivos como en el caso de la caña de azúcar, también contribuyen al cambio de uso del suelo y a la pérdida de los servicios ecosistémicos como la protección contra tormentas como es el caso de los humedales costeros (Vázquez-González *et al.*, 2014, 2016, 2019). Por esta razón, el sector agropecuario y sus actores sociales deben ser incorporados en la planificación de las medidas de prevención con la finalidad de incluir las demandas específicas de dichos sectores, ya que toda decisión implica un costo de oportunidad no sólo en términos ecológicos y de la gestión del riesgo, sino también social y económico.

Atención-emergencia: FONDEN-FMPEIR-Gobernanza

En lo que corresponde a las medidas de mitigación en el FONDEN, es necesaria la participación social en la elaboración y en la operación de los programas de atención-emergencia desde la integración del comité técnico-ejecutivo hasta la operación

de las acciones específicas tales como: las medidas de protección civil dirigidas a la evacuación de las personas afectadas (Gobierno-del-Estado-de-Veracruz, 2011), las medidas de atención a la salud (García-Arróliga *et al.*, 2012), la integración de los albergues y las medidas dirigidas a la incorporación de elementos financieros de corto plazo (Jiménez-Espinosa *et al.*, 2003; Salas-Salinas y Jiménez-Espinosa, 2004). Las redes sociales construidas por las organizaciones civiles y los grupos sociales pueden incidir en una mejor y más rápida operación de las medidas antes mencionadas, toda vez que se aprovecha la estructura institucional no formal construida por las personas y por la confianza que éstas han cimentado a lo largo del tiempo.

Recuperación-reconstrucción: FONDEN-FMPEIR-Gobernanza

Tal y como se observa en la figura 1, la estructura de respuesta del FONDEN analizada bajo el modelo FMPEIR de Kristensen (2004), no incluye a los actores sociales afectados en el proceso de recuperación-reconstrucción en el largo plazo, ni a nivel de la población civil y los hogares y tampoco a nivel de los actores clave de los sectores económicos primario, secundario y terciario. Por esta razón, los recursos financieros para atender esta etapa del manejo y la gestión del riesgo pueden mostrar un sesgo hacia obras de infraestructura como la energía eléctrica (ver <https://www.gob.mx/sspc/documentos/fondo-para-la-atencion-de-emergencias-fonden>) y otros rubros que, si bien son importantes, dejan de lado las necesidades particulares de cada uno de los sectores económicos, así como las medidas de capacidad adaptativa para prevenir en un futuro el riesgo por desastres.

Por lo anterior, se debe señalar que la estructura financiera del FONDEN debe incorporar estudios y análisis como el Atlas de Riesgo <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/atlas.html> y el Atlas de Vulnerabilidad (González-Terrazas *et al.*, 2019) con la finalidad de determinar de forma técnica, aquellos sectores, ramas y actividades económicas que tienden a ser

más vulnerables y que requerirán de mayor financiamiento para la etapa de recuperación-reconstrucción; sin embargo, esta estrategia debe ser acompañada por los actores clave y representativos de los sectores y ramas de la economía para dar certeza y mayor eficiencia durante la operación y la aplicación de los recursos financieros.

Conclusiones

El análisis de las medidas del Estado Mexicano para la prevención del riesgo (planeación urbana) y de las medidas de mitigación enfocadas a los efectos materializados del riesgo, (desastres sociales) tanto en el contexto del protocolo de Hyogo (UNISDR, 2005, 2015) como en el modelo conceptual FMPEIR, demuestran que en México se destina un mayor esfuerzo a la mitigación y a la reconstrucción. Aunque existen instrumentos para la prevención, todavía existe una mayor ponderación a la estrategia de la gestión de los desastres (SEGOB y Banco-Mundial, 2012), esto tiene como resultado que los instrumentos y las políticas públicas no estén orientadas hacia el desarrollo sostenible del país.

Si bien es cierto, los instrumentos financieros del FOPREDEN y del FONDEN han tenido una evolución positiva en términos de la eficiencia en su operación, es necesario incorporar la participación social y aprovechar la estructura de las redes sociales que

conforman las organizaciones civiles en las zonas urbanas y rurales con la finalidad de dar mayor certeza, mejorar la eficiencia en su asignación y aplicación antes (FOPREDEN), durante y después (FONDEN) de la ocurrencia de los disturbios. Además, es necesario identificar las causas-raíz de los desastres, en este sentido, el Atlas de Riesgo (ver <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/atlas.html>) y el Atlas de Vulnerabilidad (González-Terrazas *et al.*, 2019) son herramientas indispensables para elaborar los ordenamientos del territorio y los planes de crecimiento y de desarrollo urbano. Sin embargo, estas herramientas deben integrar la participación activa y efectiva de la sociedad civil y los actores clave de los sectores, ramas y actividades económicas con el objetivo de reflejar los intereses y las necesidades en cada uno de éstos, así como su experiencia con respecto a los disturbios pasados.

Literatura citada

- Araujo, X., 2004. Una revisión básica sobre conceptos y teorías de gobernabilidad. *Geoenseñanza*, 9: 75-84.
- Cámara-de-Diputados, 2014. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Cardona, O.D., 1993. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo, Los Desastres No Son Naturales. Red de estudios en prevención de Desastres en América Latina (La Red), Santiago.
- Costanza, R., y J. Farley, 2007. Ecological economics of coastal disasters: introduction to the special issue. *Ecol. Econ.*, 63: 249-253. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.002>
- Costanza, R., O. Pérez-Maqueo, M.L. Martínez, P. Sutton, S.J. Anderson, K. Mulder, 2008. The value of coastal wetlands for hurricane protection. *AMBIO A J. Hum. Environ.*, 37: 241-248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1579/0044-7447>
- DOF, 2012. Ley General de Cambio Climático. México.
- García Arróliga, N., R. Marín Cambrais, K. Méndez Estrada, y D. Bitrán Bitrán, 2006. Características e impacto socioeconómico de los huracanes "Stan" y "Wilma" en la República Mexicana en el 2005. SEGOB, CENAPRED, CEPAL, Ciudad de México.
- García-Arróliga, N., R. Marín-Cambranis, K. Méndez-Estrada, y N. Troncoso-Arriaga, 2012. Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010 (No. 12), Impacto socioeconómico de los desastres en México. Ciudad de México. <https://doi.org/978-607-7558-25-5>
- Gobierno-del-Estado-de-Veracruz, 2011. Programa Veracruzano de Protección Civil 2011-2016.
- González-Terrazas, D.I., A. Vermonden-Thibodeau, R.T. Montes-Rojas, Y.S. Nava-Assad, F. López-Díaz, F. Gress-Carrasco, M. Rojas-Barajas, M.A. Linares-Munguía, J. Machorro-Reyes, y C. Enríquez-Guadarrama, 2019. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Ciudad de México.
- Hallegatte, S., C. Green, R.J. Nicholls, J. Corfee-Morlot, 2013. Future flood losses in major coastal cities. *Nat. Clim. Chang.*, 3: 802-806. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nclimate1979>
- Jiménez-Espinosa, M., L. Matías-Ramírez, y R. Prieto-González, 2003. Ciclones tropicales. Secretaría de Gobernación (SEGOB), Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Ciudad de México.
- Kellett, J., y A. Caravani, 2013. Financing disaster risk reduction. A 20 year story of international aid. GFDRR (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery), ODI (Overseas Development Institute), London.
- Kristensen, P., 2004. The DPSIR framework. Assess. vulnerability water Resour. to Environ. Chang. Africa using river basin approach.
- Romero, G., y A. Maskrey, 1993. Como entender los desastres naturales, in: Maskrey, A. (Ed.), Los Desastres No Son Naturales. Red de estudios en prevención de Desastres en América Latina (La Red), Santiago de Chile, pp. 6-10.
- Salas-Salinas, M.A., y M. Jiménez-Espinosa, 2004. Inundaciones, Fascículos. Secretaría de Gobernación (SEGOB), Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Ciudad de México.
- Salinas-Escobar, M.E., 2008. El ordenamiento territorial: experiencias internacionales.
- SEGOB, Banco-Mundial, 2012. FONDEN: El Fondo de Desastres Naturales de México-Una Reseña. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento-Banco Mundial, Washington, D.C.
- UNISDR, 2005. Hyogo framework for action 2005-2015: building the resilience of nations and communities to disasters, in: Extract from the Final Report of the World Conference on Disaster Reduction (A/CONF. 206/6). UNISDR (United Nations Office for Disaster Reduction), Geneva, p. 28.
- UNISDR, 2015. Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030.
- Vázquez-González, C., J.L. Fermán-Almada, P. Moreno-Casasola, e I. Espejel, 2014. Scenarios of vulnerability in coastal municipalities of tropical Mexico an analysis of wetland land use. *Ocean Coast. Manag.*, 89, 11-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.12.004>

- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, B.E. Escamilla-Pérez, S. Díaz de León, y L.A. Peralta Peláez, 2016. Valor económico de los ecosistemas. p. 186-198. In: Moreno-Casasola, P. (Ed.), *Servicios Ecosistémicos de Las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz*. Instituto de Ecología, Xalapa-Veracruz, México.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, L.A. Peralta Peláez, R. Monroy, e I. Espejel, 2019. The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: An analysis of flood damage by hurricane impacts. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 37: 101180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101180>
- Welsh-Rodríguez, C.M., y A. Tejeda-Martínez, 2010. Programa veracruzano de acción ante el cambio climático - síntesis de los estudios, In: Yáñez-Arancibia, A. (Ed.), *Impactos Del Cambio Climático Sobre La Zona Costera*. Instituto de Ecología A. C. (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), Xalapa, Veracruz, pp. 52–66.

PARTE 2

Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre

Una Guía para Tomadores de Decisiones

GOBERNANZA AMBIENTAL

Es un concepto en política ambiental que involucra al desarrollo sostenible como una consideración suprema para el manejo de todas las actividades humanas, tanto políticas, sociales y económicas. La gobernanza incluye gobierno, negocios y sociedad civil y enfatiza a todo el sistema de manejo. Para capturar este rango diverso de elementos, la gobernanza ambiental frecuentemente emplea sistemas alternativos de gobernanza, por ejemplo, el manejo basado en ecosistemas.

De manera general, la gobernanza ambiental puede ser considerada como un “set de procesos regulatorios, mecanismos y organizaciones a través de las cuales los actores políticos influyen las acciones ambientales y sus resultados (Lemos y Agrawal, 2006). Por su parte, Brunner *et al.* (2005) define a la gobernanza ambiental como el papel de la información derivada del ámbito científico sobre la función de los ecosistemas en la toma de decisiones. Mientras que Kay *et al.* (2001) la considera dentro del campo de la normatividad y de procesos de arreglos que llevan a la sostenibilidad. Para Chaffin *et al.* (2014) la gobernanza ambiental es “el sistema de instituciones, incluyendo reglas, leyes, regulaciones, políticas y normas sociales y organizaciones involucradas en gobernar el uso de los recursos ambientales y/o su protección, por lo que existen diferentes enfoques”.

- Brunner, R. D., T. A. Steelman, L. Coe-Juell, C. M. Cromley, C. M. Edwards, y D. W. Tucker, 2005. Adaptive governance: integrating science, policy, and decision making. Columbia University Press, New York, New York, USA.
- Chaffin, B. C., H. Gosnell, y B. A. Cosens, 2014. A decade of adaptive governance scholarship: synthesis and future directions. *Ecology and Society*, 19(3): 56. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06824-190356>
- Kay, J., M. Boyle, y B. Pond, 2001. Monitoring in support of policy: an adaptive ecosystem approach. p. 116-137. In: T. Munn, editor. Encyclopedia of global environmental change, Volume 4: responding to global environmental change. Wiley, London, UK.
- Lemos, M. C., y A. Agrawal, 2006. Environmental governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 31: 297-325. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.31.042605.135621>

La variabilidad climática en las zonas costeras

I. Azuz-Adeath

Resumen

Las zonas costeras mexicanas entendidas como las regiones limítrofes entre el mar y la tierra, están sujetas a una serie de fenómenos y procesos naturales y antropogénicos que actúan de manera continua o episódica en diferentes escalas espaciales y temporales. Muchos fenómenos atmosféricos y oceánicos condicionan, modifican o afectan las actividades humanas que se desarrollan en estas regiones del territorio nacional, las cuales, han demostrado ser elementos fundamentales para el desarrollo económico del país y para mejorar la calidad de vida de sus pobladores. El conocimiento, monitoreo, modelado y correcta gestión de la componente ambiental de los procesos que ocurren en las costas es absolutamente indispensable para la planeación de las actividades humanas, para el adecuado manejo de los bienes y servicios ambientales, para la disminución de la vulnerabilidad de las comunidades y en definitiva para alcanzar un desarrollo duradero del litoral del país. En este capítulo se explicarán y

analizarán fenómenos de carácter climático, fundamentalmente atmosféricos, que tienen influencia en escalas de tiempo del orden de décadas y sus impactos potenciales y observados sobre los ecosistemas y actividades humanas que se realizan en las zonas costeras. Desde el punto de vista de la gobernanza estos fenómenos y sus efectos potenciales plantean retos formidables para la gestión pública por las escalas de tiempo en las que actúan.

Palabras clave: fenómenos atmosféricos, fenómenos oceánicos, zona costera.

Introducción

México ha sido dotado de una extensa zona marina, costera e insular la cual comprende aproximadamente 11 200 km de litoral y 3.1 millones de kilómetros cuadrados de zona económica exclusiva. Adicionalmente presenta dos mares semicerrados, el golfo de México en el este y el mar de Cortés al oeste, y se ve influenciado por los procesos oceanográficos y atmosféricos del océano Pacífico y Atlántico, al igual que del mar Caribe.

Dividido administrativamente en 17 estados costeros que abarcan el 57 % del territorio continental del país y 158 municipios con frente litoral, en los cuales habitan de manera permanente alrededor de 19 millones de personas, los estados costeros de México y sus zonas litorales son un importante motor de desarrollo económico y social debido entre otras actividades a las: turísticas, portuarias, agrícolas, pesqueras, extractivas y generadoras de energía.

México es considerado un país megadiverso, pertenece al grupo de países que poseen alrededor del 70 % de la diversidad biológica global, de los cuales, solamente tres tienen litorales tanto en el Atlántico como en el Pacífico (CONABIO, 2019a). Las características geográficas y fisiográficas de

la Nación la han dotado de una riqueza ambiental poco común, desafortunadamente en las regiones con mayores recursos biológicos se presentan las zonas de mayor marginación, pobreza y vulnerabilidad. En el país es evidente un gradiente norte-sur de recursos ambientales y económicos, al igual que de las zonas litorales a las zonas montañosas, siendo por lo regular las zonas costeras (en comparación con las montañosas) donde se tienen mejores condiciones y calidad de vida. La figura 1 presenta un contraste entre la vegetación potencial y el índice de desarrollo humano en el territorio nacional.

En contraste con las bondades que presenta la zona costera mexicana, también es necesario hablar de los problemas, conflictos y riesgos que existen. Uno de los mayores problemas es la contaminación –en sentido amplio– de las aguas y zonas costeras, desde la contaminación por aguas residuales (urbanas e industriales), escurrimientos agroquímicos, basura, plásticos y residuos hasta la eutrofización y florecimientos algales nocivos; la sobrepesca y la acuicultura extensiva; cambios en el uso de suelo, expansión urbana desordenada; impactos en el paisaje, deterioro de hábitats, pérdida de

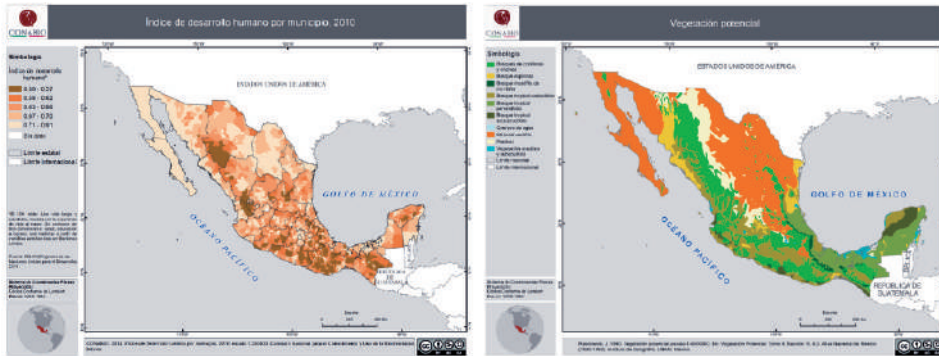


Figura 1. Caracterización municipal del Índice de Desarrollo Humano (izquierda) y la vegetación potencial (derecha) en México. Fuente de los mapas: CONABIO, 2019.

biodiversidad, alteración de los servicios y funciones de los ecosistemas, introducción de especies invasoras; sequías, escasez de agua, salinización de acuíferos (zona norte) e inundaciones (zona sur); falta de regulación o superposición de competencias; riesgos asociados el transporte marítimo y almacenamiento de sustancias peligrosas y vulnerabilidad al cambio climático, a los procesos erosivos y a los fenómenos meteo-

rológicos extremos, por mencionar algunos elementos.

En el presente capítulo se describirá qué es la variabilidad climática y se analizará el impacto que tiene la variabilidad climática del orden de décadas en las zonas costeras mexicanas, a partir del estudio de algunas actividades y productos de importancia económica y social.

Cambio climático y variabilidad climática

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), el término cambio climático se refiere a un cambio en el estado medio o en la variabilidad de alguna de las propiedades del clima, que puede ser identificado por pruebas estadísticas y que persiste por largos periodos de tiempo, típicamente décadas, como resultado de la variabilidad natural o por efecto de las actividades humanas. El calentamiento global, el aumento acelerado del nivel del mar y la acidificación de los océanos son algu-

nas manifestaciones del cambio climático. Debido a las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, asociadas fundamentalmente a las actividades humanas que se han venido desarrollando a partir de la revolución industrial, el calentamiento global de la atmósfera es de 0.1 a 0.3 °C por década (IPCC, 2018).

Por otra parte, la variabilidad climática hace referencia a las variaciones en el estado medio y otras características estadísticas del clima en todas las escalas espaciales y temporales más allá de eventos meteorológicos

individuales o episódicos. Los modos de variabilidad climática son la combinación de un patrón climático espacial y la serie de tiempo del índice climático asociado. La estructura temporal de estos modos de variabilidad climática se ha estudiado históricamente a partir de la asociación estadística de variables climáticas registradas en estaciones fijas, separadas entre sí por grandes distancias geográficas, también llamadas teleconexiones. Estas teleconexiones son causadas por la existencia de estructuras espaciales de grandes dimensiones generadas por la variabilidad en las interacciones entre el océano y la atmósfera (Christensen *et al.*, 2013; Karoly, 1983).

Entre los modos de variabilidad climática más importantes o que pudieran tener influencia en las costas de México se deben mencionar: La Oscilación Multidecadal del

Atlántico (AMO), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) y el fenómeno de El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés). Estos modos de variabilidad climática o señales globales han sido caracterizadas desde hace muchos años por medio de índices temporales (Deser *et al.*, 2010; KNMI, 2019; NOAA-ESLR, 2019; JISAO, 2019) construidos a partir de información de las temperaturas –atmosféricas y oceánicas– y diferencias en la presión a nivel del mar entre puntos separados por grandes distancias. La figura 2 muestra de manera conceptual, a partir del registro de temperaturas atmosféricas mensuales en un estado costero de México, los conceptos de clima, calentamiento global y variabilidad climática del orden de décadas.

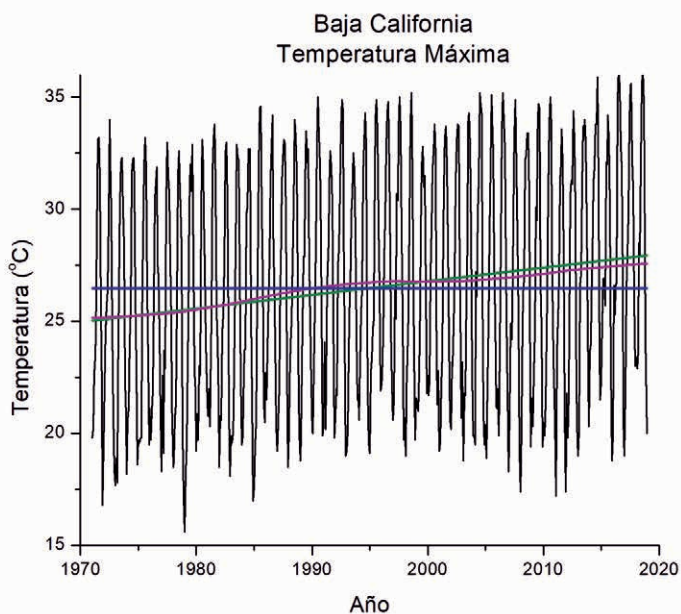


Figura 2. Representación gráfica mensual de una variable climática (temperatura máxima atmosférica en gris), el clima medio (azul), el efecto del calentamiento global (verde) y la variabilidad climática del orden de décadas (magenta).

Importancia y efectos de la variabilidad climática en México

Las costas mexicanas son influenciadas por los procesos de interacción océano-atmósfera-continente en diferentes escalas espaciales y temporales. Esta revisión tiene como referente espacial distancias del orden de cientos a miles de kilómetros y en el ámbito temporal fenómenos que ocurren en periodos de décadas.

Las variables climáticas (*e.g.* lluvia, temperatura máxima y mínima) cuando son registradas durante largos periodos de tiempo, permiten analizar las distintas componentes que conforman la variabilidad de estas señales, desde fenómenos estacionales hasta procesos de décadas o mayores según la longitud de los registros existentes. De igual manera los patrones de temperatura, estratificación, circulación de vientos y corrientes en los océanos pueden ser analizados en un amplio rango de escalas de variación. Su interacción con los fenómenos atmosféricos en escalas temporales y espaciales largas determinan en gran medida el comportamiento del sistema climático mundial. Estas fluctuaciones de largo plazo pueden afectar la flora y la fauna natural, al igual que la producción agrícola y pesquera e incluso influir en la presencia y distribución espacial de vectores transmisores de enfermedades.

Diversos estudios a nivel internacional han mostrado los efectos del cambio y la variabilidad climática sobre: la biodiversidad, las pesquerías, la agricultura, la ganadería y los recursos forestales (Mantua *et al.*, 1997; Zhao *et al.*, 2005; Sivakumar *et al.*, 2005; Parry *et al.*, 2007; Field *et al.*, 2014); de igual forma su influencia sobre los patrones de precipitación y variabilidad de los caudales de ríos (Enfield *et al.*,

2001; Benson *et al.*, 2003; Ouachani *et al.*, 2013); en los cambios en el contenido de agua y calor en los océanos (Boyer *et al.*, 2007); anomalías en los patrones de temperaturas superficiales y de los impactos de huracanes (Tian *et al.*, 2011; Poore y Brock 2011); crecimiento forestal atípico y riesgo de incendios (Mote *et al.*, 2003); en la escasez de agua y la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas (Motha y Baier 2005; Piao *et al.*, 2010; Rosenzweig 2011) entre otras variables y procesos en regiones ampliamente extendida y separadas entre sí, en los diferentes continentes.

En México, si bien los estudios sobre los impactos del cambio climático en las zonas costeras son extensos, ver por ejemplo las obras de: Rivera *et al.* (2010), Botello *et al.* (2011), INECC (2012) y Yañez-Arancibia (2015), los relacionados con los efectos de la variabilidad climática sobre las actividades productivas, como la agricultura y pesquerías, al igual que sobre la biodiversidad son menos abundantes (Dilley, 1997; Chavez *et al.*, 2003; Conde *et al.*, 2006; Ziervogel *et al.*, 2006; Tourre *et al.*, 2007; Azuz, 2012, 2015; Rogé y Astier, 2015; Azuz y Cuevas, 2018; Azuz *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2018). De los diferentes modos de variabilidad climática quizá el más estudiado en México ha sido el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (Escobar *et al.*, 2001; Reyes-Bonilla *et al.*, 2002; Magaña y Gay, 2002; Bhattacharya y Chiang, 2014; FAO, 2015; Caballero *et al.*, 2016), teniendo incluso un sistema de monitoreo de sus condiciones en el servicio meteorológico nacional (ENOS-SMN), sin embargo el impacto de otras señales como la AMO, NAO y PDO puede ser igual de significativos o más

en escalas de tiempo más largas. La figura 3 muestra la correlación existente entre la producción de cacao en Tabasco y el comportamiento de la oscilación del Atlántico norte (NAO). El caso del cacao es icónico debido a que posterior a la época de bonanza en la producción de la semilla en el país (finales de los 80 y principios de los 90), su rápido declive no ha podido ser explicado a cabalidad (figura 3).

En este caso, la influencia de la NAO sobre la producción de cacao puede darse a través de diferentes mecanismos, por ejemplo: cambios en los regímenes de lluvia, modificaciones en los aportes de nutrientes, alteraciones en los contenidos de humedad y composición del suelo, lo cual puede generar condiciones para la existencia o no de plagas y hongos, etc.

A nivel nacional, los estudios de Azuz (2012), Azuz y Cuevas (2018) y Azuz *et al.* (2018), entre otros, han mostrado la influencia de largo plazo de los modos de variabilidad climática en los registros de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima de los estados costeros, al igual que sobre la producción agrícola y pesquera de las principales entidades costeras del país. En algunos de estos estudios el impacto económico de la variabilidad climática ha podido ser cuantificado y se estima que de manera acumulada durante el periodo 1980-2015, los que se ha dejado de ganar como consecuencia del impacto de la variabilidad climática sobre la producción agrícola de todos los estados costeros se ubica alrededor de los tres mil millones de dólares.

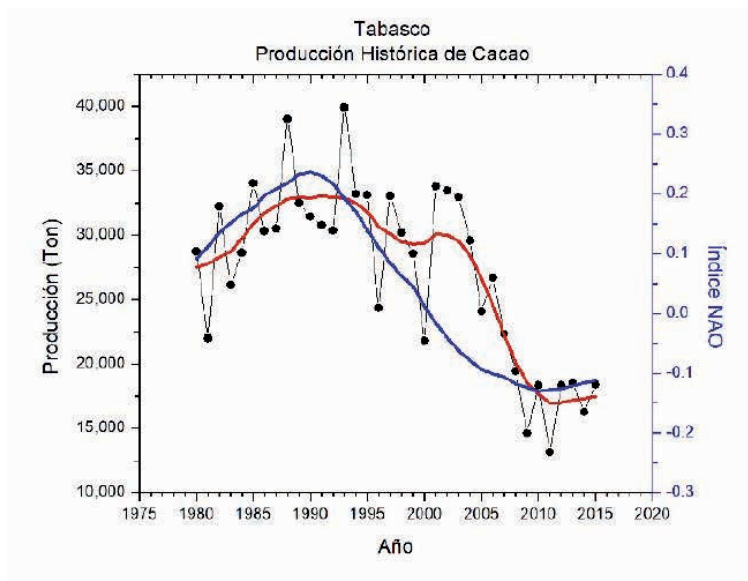


Figura 3. Producción histórica de cacao en Tabasco (puntos negros), señal de producción suavizada (rojo) e índice de la NAO (azul escala izquierda).

A manera de conclusión

Los impactos de largo plazo en las zonas costeras mexicanas, tanto del cambio climático como de la variabilidad climática, tienen que ser estudiados a profundidad por la comunidad científica debido a los impactos que pudieran producir en el futuro mediato (orden de décadas).

La ubicación geográfica de México y sus características fisiográficas, lo hacen proclive a sentir los efectos de los fenómenos y procesos que ocurren tanto en el Atlántico como en el Pacífico. Año con año, los fenómenos meteorológicos extremos —de carácter episódico— que impactan las costas nacionales nos hacen conscientes de la importancia de los procesos atmosféricos y oceánicos sobre el desarrollo de las actividades sociales y productivas, sin embargo, por la naturaleza propia del ser humano, no tenemos la capacidad de percatarnos de fenómenos que ocurren de manera muy lenta, sobre grandes extensiones territoriales o de procesos que muestran periodos de oscilación de décadas o mayores, lo cual implica un alto riesgo como sociedad.

Desde el punto de vista de la gestión costera esto plantea importantes retos para los tomadores de decisiones, dados los perio-

dos de tiempo en los cuales se manifestarán dichos fenómenos, los cuales son mayores a los periodos de gestión gubernamental (3 o 6 años). Por lo que su estudio y análisis requieren políticas y programas de carácter transexenal. Adicionalmente es necesario tener una visión global dada la exposición del país a los fenómenos meteorológicos y atmosféricos de los dos mayores océanos del mundo (Pacífico y Atlántico).

La necesidad de contar con series de tiempo que cubran grandes extensiones del territorio, medidas de manera continua por largos periodos de tiempo, es otro de los retos para la comunidad científica y para el sector gobierno que deberán ser abordados si se quiere tener claridad en los impactos de estos fenómenos naturales e inducidos por el hombre que se dan en periodos de tiempo largos y en grandes extensiones espaciales. La necesidad de contar con mediciones, estudios y modelos que permitan conocer y predecir el comportamiento de estos fenómenos es de vital importancia para el país y tendrían que tener el mismo nivel de prioridad que el que se le ha dado al cambio climático o al fenómeno de El Niño.

Literatura citada

- Azuz, I., 2012. The role of global oscillations and teleconnections within atmosphere and ocean in regional coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 69: 78-91.
- Azuz, I., 2015. Impacto de la variabilidad climática en la producción agrícola de los estados costeros mexicanos. En: Yañez-Arancibia, A. (Ed.) Cambio Climático. Adaptación y Mitigación hacia Agendas Siglo XXI. AGT Editor, p. 13-30.
- Azuz-Adeath, I., y A. Cuevas, 2018. Potential Impacts of Decadal Climate Variability on Coastal Biodiversity and Societal Important Productive Activities. A case study in Mexican coastal states. In Ortega-Rubio, A. (Ed): Mexican Natural Resources Management and Biodiversity Con-

- servation, Springer, p. 319-345. ISBN: 978-3-319-90583-9. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90584-6_15
- Azuz-Adeath, I., C. González-Campos y A. Cuevas-Corona, 2018. Predicting the Temporal Structure of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) for Agriculture Management in Mexico's Coastal Zone. *Journal of Coastal Research*. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-18-00030.1. Online ISSN:1551-5036, Print ISSN: 0749-0208.
- Benson, L., B.M. Linsley, J. Smoot, S. Mensing, S. Lund, S. Stine, y A. Sarna-Wojcicki, 2003. Influence of the Pacific Decadal Oscillation on the climate of the Sierra Nevada, California and Nevada, *Quaternary Research*, 59:151-159.
- Bhattacharya, T., y J.C.H. Chiang, 2014. Spatial variability and mechanisms underlying El Niño-induced droughts in Mexico. *Climate Dynamics*, 43(12): 3309-3326.
- Botello, A., S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J. L. Rojas, 2011. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático (segunda edición). Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 754 p.
- Boyer, T., S. Levitus, J. Antonov, R. Locarnini, A. Mishonov, H. Garcia, y S.A. Josey, 2007. Changes in freshwater content in the North Atlantic Ocean 1955-2006, *Geophysical Research Letters*, 34:1-5.
- Caballero, M., G. Vázquez, B. Ortega, M.E. Favila, y S. Lozano-García, 2016. Responses to a warming trend and "El Niño" events in a tropical lake in western Mexico. *Aquatic Science*, 78(3): 591-604.
- Chavez, F., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, y M. Niquen, 2003. From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217-221.
- Christensen, J.H., K. Krishna Kumar, E. Aldrian, S.-I. An, I.F.A. Cavalcanti, M. de Castro, W. Dong, P. Goswami, A. Hall, J.K. Kanyanga, A. Kitoh, J. Kossin, N.-C. Lau, J. Renwick, D.B. Stephenson, S.-P. Xie, y T. Zhou, 2013. Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- CONABIO, 2019a. Biodiversidad Mexicana. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Fecha de consulta: 02-03-2019. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees.html>
- CONABIO (2019b). Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Fecha de consulta: 11-04-2019. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Conde, C., R. Ferrer, y S. Orozco, 2006. Climate change and climate variability impacts on rain-fed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study. *Atmósfera*, 19(3): 181-194.
- Deser, C., M.A. Alexander, S.P. Xie, y A.S. Phillips, 2010. Sea surface temperature variability: Patterns and mechanisms. *Annual Review of Marine Sciences*, 115-143. doi: 10.1146/annurev-marine-120408-151453
- Dilley, M., 1997. Climatic factors affecting annual maize yields in the valley of Oaxaca, Mexico. *International Journal of Climatology*, 17(14): 1549-1557.
- Enfield, D.B., A.M. Mestas-Núñez, y P.J. Trimble, 2001. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flow in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 28(10), 2077-2080.
- ENOS-SMN. Estatus del Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Servicio Meteorológico Nacional (SMN). <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/estatus-del-nino>
- Escobar, E., M. Bonilla, A. Badán, M. Caballero, y A. Winckell, 2001. Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, D.F., pp. 246.
- FAO, 2015. Entendiendo el impacto de sequía provocada por El Niño en el área agrícola mundial: una evaluación utilizando el Índice de Estrés Agrícola de la FAO (ASI). Serie sobre el medio ambiente y los recursos naturales 23, pp. 44.
- Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, y L.L. White (eds.), 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation,*

- and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- INECC, 2012. México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), SEMARNAT, México, D.F., 399 pp.
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 p.
- JISAO, 2017. Pacific Decadal Oscillation Index. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), University of Washington. <http://research.jisao.washington.edu/pdo/>
- Karoly, D.J., 1983. Atmospheric teleconnections, forced planetary waves and blocking. *Australian Meteorological Magazine*, 31: 51-56.
- KNMI, 2017. KNMI Climate Explorer. WMO Regional Climate Center. <http://climexp.knmi.nl/about.cgi?id=someone@somewhere>
- Magaña, V.O., y C. Gay, 2002. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*, 65: 7-23.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y.I. Zhang, J.M. Wallace, y R.C. Francis, 1997. A Pacific interdecadal oscillation with impacts on Salmon production, *Bulletin American Meteorological Society*, 78(6):1069-1079.
- Martínez, R., R. Saldívar, M. Morales, S.E. Lluch-Cota, D. Lluch-Cota, C. Salvadeo, y G. Ponce, 2018. Contribution of ocean variability to climate-catch models of Pacific sardine, *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, 159: 103-111 DOI: 10.1016/j.dsr2.2018.12.001
- Mote, P. W., E.A. Parson, A.F. Hamlet, W.S. Keeton, D. Lettenmaier, N. Mantua, E.L. Miles, D.W. Peterson, R. Slaughter, y A.K. Snover, 2003. Preparing for climatic change: The water, salmon, and forests of the pacific northwest. *Climatic Change*, 61(1-2): 45-88. doi:<http://dx.doi.org/10.1023/A:1026302914358>
- Motha, R.P., y W. Baier, 2005. Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: North America, *Climate Change*, 70: 137-164.
- NOAA-ESLR, 2017. Atlantic Multidecadal Oscillation Index. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Earth System Research Laboratory (ESLR). <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/>
- Ouachani, R., B. Zoubeida, y T. Ouarda, 2013. Power of teleconnection patterns on precipitation and streamflow variability of upper Medjerda Basin, *International Journal of Climatology*, 33:58-76.
- Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P. van der Linden, y C. Hanson (eds.), 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma, Y. Ding, P. Friedlingsstein, C. Liu, K. Tan, Y. Yu, T. Zhang, y J. Fang, 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China, *Nature*, 467:43-51.
- Poore, R.Z., y J.C. Brock, 2011. Evidence of multidecadal climate variability in the Gulf of Mexico. NGOM Ecosystem Change and Hazard Susceptibility Project, Fact Sheet 2011/3027. (Accessed 15.08.16). <https://pubs.usgs.gov/fs/2011/3027/>
- Reyes-Bonilla, H., J.D. Carriquidí, G.E. Leyte-Morales, y A.L. Cupul-Magaña, 2002. Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the anti-El Niño event (1997-1999) on coral reefs of the western coast of Mexico. *Coral Reefs*, 21: 368-372
- Rivera, E., I. Azuz, L. Alpuche y G. Villalobos, 2010. Cambio climático en México: un enfoque costero y marino. Universidad Autónoma

- de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche, 944 pp.
- Rogé, P., y M. Astier, 2015. Changes in climate, crops, and tradition: Cajete maize and the rafted farming systems of Oaxaca, Mexico. *Human Ecology*, 43: 639-653.
- Rosenzweig, C., 2011. Climate change and agriculture, in Meyers, R.A. (Ed), Extreme Environmental Events. Complexity in forecasting and early warning, Springer, p 31-41.
- Sivakumar, M.V.K., H.P. Das, y O. Brunini, 2005. Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics, *Climate Change*, 70:31-72
- Tian, Y., H. Kidokoro, y T. Fujino, 2011. Interannual-decadal variability of demersal fish assemblages in the Tsushima Warm Current region of the Japan Sea: Impacts of climate regime shifts and trawl fisheries with implications for ecosystem-based management, *Fisheries Research*, 112:140-153.
- Tourre, Y.M., S.E. Lluch-Cota, y W.B. White, 2007. Global multi-decadal ocean climate and small-pelagic fish population. *Environmental Research Letters*, 2: 034005 (9pp). <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/2/3/034005>
- Yañez-Arancibia, A., 2015. Cambio Climático. Adaptación y mitigación hacia agendas Siglo XXI. AGT Editor, 254 p.
- Zhao, Y., C. Wang, S. Wang, y L.V. Tibig, 2005. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the humid and sub-humid tropics. *Climatic Change*, 70: 73-116.
- Ziervogel, G., A. Nyong, B. Osman, B., C. Conde, S. Cortés, y T. Downing, 2006. Climate Variability and Change: Implications for Household Food Security. Washington, D.C., USA: International START Secretariat, AIACC Working Paper No. 20, 32p.

Ecosistemas costeros complejos

I. Azuz-Adeath, L. Rodríguez-Cardózo y H. Alonso-Peinado

Resumen

Las zonas costeras son regiones donde la litósfera, la atmósfera y la hidrósfera se manifiestan e interactúan en diferentes escalas espaciales y temporales, muchas veces con un carácter no lineal y hasta caótico. Las zonas costeras de México, presentan una extensa y variada diversidad biológica –tanto terrestre como marina– al igual que una gama de recursos renovables y no renovables, debido a la ubicación del país, a su variedad de climas, a su extensión territorial y a la configuración morfológica de sus costas, entre otros factores. Adicionalmente, las poblaciones costeras, y las actividades que se desarrollan en ellas tienen impactos bidireccionales complejos con múltiples interacciones. En este capítulo se estudiará la gobernanza de las zonas costeras considerando las dimensiones: ambiental, económica, social e institucional o política, a partir de una aproximación basada en el concepto de sistema, específicamente de sistemas complejos. Se analizarán las diferentes características e interacciones pre-

sententes entre los diferentes subsistemas y se propondrán esquemas de actuación que contemplen la fragilidad del sistema bajo análisis y la complejidad en la definición de las fronteras de actuación de los subsistemas y sus interacciones.

Palabras clave: sistemas complejos, zonas costeras, México.

Introducción

La zona costera, entendida de manera general como la región limítrofe entre los continentes y los océanos, ha sido y seguirá siendo un espacio geográfico clave para el desarrollo de la civilización humana. Desde los procesos migratorios transcontinentales de finales del Pleistoceno e inicios del Holoceno, hace aproximadamente 12 000 años (Westley y Dix, 2006; Erlandson y Braje, 2015), hasta los desplazamientos recientes asociados a las condiciones ambientales (The Heinz Center, 2002; Perch-Nielsen *et al.*, 2008; Mallick y Vogt, 2014; Curtis *et al.*, 2015; Islam y Hasan, 2016), la zona costera se ha constituido como uno de los principales referentes espaciales e históricos del ser humano.

El estudio de las zonas costeras se ha realizado a partir de diferentes aproximaciones metodológicas, como las asociadas a una disciplina específica del ámbito económico, social o ambiental (*e.g.* Kohn y Gowdy, 1999; Visser, 1999; Otter y Capobianco, 2000), las que trabajan desde una perspectiva espacial y buscan la zonificación óptima de actividades para reducir conflictos (*e.g.* Ehler y Douvere, 2009; Smith *et al.*, 2011; Portman, 2016), hasta las que buscan la integración interdisciplinaria con base en las funciones del ecosistema a partir de una visión adaptativa y participativa en un contexto de riesgo e incertidumbre priorizando el principio precautorio como elemento en la toma de decisiones (Cicin-Sain y Kne-

cht, 1998; Kay y Alder, 2005; Turner y Schaafsma, 2015).

El análisis de los procesos que ocurren en la zona costera se puede entender, desde una perspectiva de sistemas, desde los estudios pioneros de Odum (1987), donde se consideraban diferentes elementos constituyentes del sistema costero, sus fronteras, los flujos de materia y energía que transitaban entre ellos, las interacciones presentes, los factores limitantes y los distintos niveles de organización en su interior. Las propiedades de un sistema pueden ser caracterizadas de acuerdo con Tett *et al.* (2011) como:

- Consiste de partes o elementos y relaciones o interacciones entre ellos.
- Muchas veces están presentes ciclos de retroalimentación que crean propiedades emergentes adicionales a las presentes en los elementos constituyentes originales, muchas veces con un carácter no lineal y/o caótico. Estos ciclos de retroalimentación pueden ser positivos o negativos de acuerdo con las respuestas del sistema ante perturbaciones.
- Presentan fronteras espaciales y temporales las cuales determinan la extensión y escala del sistema. Las fronteras pueden permitir o no el flujo de materia y/o energía, caracterizando a los sistemas como cerrados a abiertos.
- Tienen un estado base el cual es el resultado de las características intrínsecas de su dinámica interna, y adicionalmente

procesos que pueden atravesar las fronteras.

- Pueden contener subsistemas organizados con ciertos niveles jerárquicos y propiedades emergentes que pueden cruzar de un nivel a otro, en un continuo de entradas y salidas. Estos subsistemas pueden presentar patrones espaciales que propician la formación de una estructura granular al sistema total.

Adicionalmente, la aproximación sistémica al estudio de la zona costera, permite de manera relativamente fácil incorporar herramientas de análisis que logran una mejor comprensión del sistema y sus procesos, que evalúan su comportamiento espacial y temporal e incluso que permiten monitorear o pronosticar su comportamiento espacial y temporal futuro, como: los modelos de simulación probabilísticos o basados en procesos, los indicadores de presión, estado y respuesta, y los sistemas de información geográfica entre otros.

Sea cual sea la aproximación que se siga para el estudio y gestión de la zona costera, los conceptos de sustentabilidad y gobernanza son los objetivos fundamentales por alcanzar para mejorar la calidad de vida del ser humano y dotar a las generaciones futuras de las mismas oportunidades de que han gozado las generaciones actuales y pasadas.

De manera simple, el concepto de sustentabilidad aplicado a las zonas costeras busca equilibrar las dimensiones económica, social y ambiental. Esto en palabras

sencillas es lograr un desarrollo económico y social respetando y preservando los servicios y funciones ambientales que proveen las zonas costeras y su biodiversidad. Newmann *et al.* (2017), presentan una aproximación conceptual al concepto de sustentabilidad fuerte en las zonas costeras y presentan algunos conceptos clave por lograr: a) no sustituir el capital natural, en su lugar buscar su restauración, rehabilitación y conservación; b) una gobernanza costera integral, adaptativa y coherente es necesaria y c) tomar en cuenta las conexiones e interacciones entre tierra y mar y tratar de disminuir o eliminar las presiones que son resultado de estas.

Por otra parte, la gobernanza costera se refiere a las estructuras y procesos usados para conducir los procesos de gobierno tanto públicos como privados en las regiones costeras, al igual que los recursos y actividades que en ella se dan, desde los políticos, la participación pública, los productivos (*e.g.* extracción de petróleo, comercio marítimo, pesquerías), los sociales y los que ocurren en ambientes específicos de las costas (Ehler, 2003; Burroughs, 2011).

En este capítulo se presentará una aproximación al estudio de la zona costera mexicana basado en el enfoque de sistemas, considerándola como un sistema complejo. Se buscará establecer algunos elementos de su estructura de gobernanza actual y se pondrán caminos para mejorarla con el fin de transitar hacia el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sustentable.

Características de la zona costera

La zona costera mexicana se puede caracterizar desde diferentes aproximaciones. Desde el punto de vista legal, de acuerdo con la Política Nacional de Mares y Costas (PNMC) de México (DOF 30/11/2018), “La zona costera es el espacio geográfico de interacción mutua entre el medio marino, el medio terrestre y la atmósfera, comprendido por: a) una porción continental definida por 265 municipios costeros; 150 con frente de playa y 114 sin acceso al mar, pero con influencia costera alta y media (por ejemplo, vegetación costera); b) una porción marina definida a partir de la plataforma continental delimitada por la isobata de los 200 metros, y c) una porción insular representada por las islas nacionales”. La figura 1 muestra la zona costera mexicana.

De esta forma, la zona costera mexicana es una franja espacialmente irregular a lo largo del territorio, definida en términos morfológicos y administrativos, que se

extiende horizontalmente desde el punto en superficie asociado a la ubicación de la isobata de los 200 metros, hasta los límites territoriales de los municipios costeros con frente de mar o en su caso con los que tienen influencia costera alta y media. Adicionalmente, esta definición implica también la existencia de una estructura vertical de la zona costera, la cual incluye tanto la columna de agua (hasta los 200 m) en la parte marina, como todas las variaciones del terreno que se encuentren dentro de los límites de los municipios considerados.

Si bien, esta definición de la zona costera permite definir sus fronteras espaciales, como sistema, con un cierto nivel de permanencia en el tiempo, los elementos constituyentes del mismo o subsistemas, sus interacciones y los ciclos de retroalimentación que ocurren, tanto en la parte marina como en la terrestre, conforman un sistema altamente complejo y dinámico.

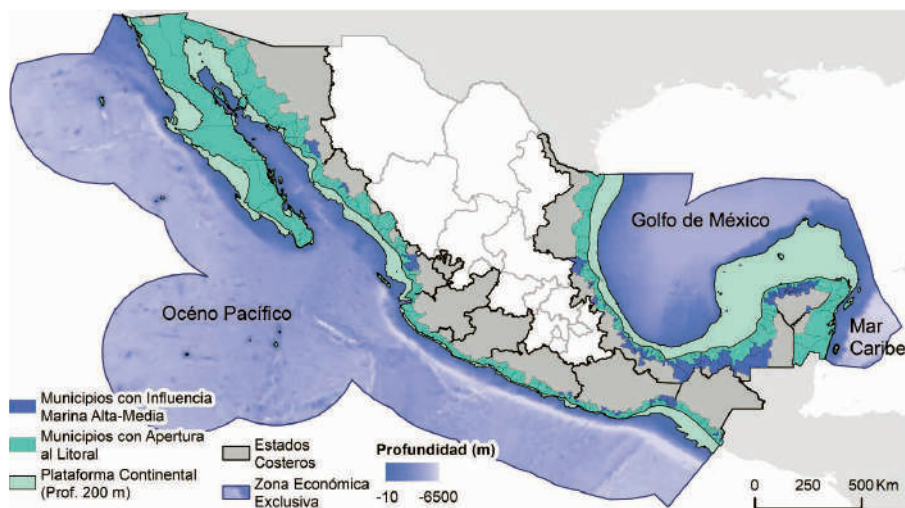


Figura 1. Zona costera mexicana de acuerdo a la definición de la PNMC (elaboración propia con base en información de Azuz y Rivera, 2009).

En un nivel muy general de caracterización de los subsistemas presentes en la zona costera, se podría hablar de los ambientales o naturales y los sociales o antropogénicos. Al interior de estos se podría hablar nuevamente de componentes o procesos: físicos, biológicos, químicos y geológicos en la parte ambiental, y por ejemplo procesos productivos (tanto marinos como terrestres), aquellos relacionados con los asentamientos humanos y la expansión de las comunidades costeras y los que tienen que ver con los usos recreativos o contemplativos de la zona.

Una dimensión de la complejidad del sistema costero aparece cuando analizamos la estructura temporal y espacial en la cual ocurren los diferentes procesos de los componentes constituyentes, por ejemplo en el componente físico la rompiente de las olas se puede apreciar en escalas de tiempo del orden de segundos, mientras que el efecto de la marea se hace perceptible en escalas de tiempo de horas, o el aumento acelerado del nivel del mar por el cambio climático en el orden de varias décadas o siglos. Se puede ejemplificar para el subsistema social, en el mismo sentido, por ejemplo, con la expansión de las zonas turísticas en las playas, donde los cambios pueden ser imperceptibles en escalas de tiempo pequeñas pero al cabo de varios años o décadas los cambios son totalmente claros.

Sobre esta estructura espacial tridimensional definida por la PNMC, se sobreponen instrumentos regulatorios como los ordenamientos ecológicos, las áreas naturales protegidas y sus programas de manejo, los humedales de interés internacional o sitios Ramsar, los esquemas de certificación de playas y los instrumentos relacionados con la pesca, maricultura y acuicultura, entre otros. Adicionalmente, las competencias

administrativas sobre esta región espacial van desde el orden federal hasta el municipal.

Este capítulo considera que al interior de este sistema costero existen cinco subsistemas: el ambiental, el social, el económico, el tecnológico o de infraestructura y el de gobernanza (ver figura 2), cada uno de los cuales tiene elementos que pueden interactuar y generar ciclos de retroalimentación tanto positivos como negativos con otros elementos del propio subsistema o con los de otros, generando propiedades y comportamientos del sistema que no son fácilmente predecibles, muchas veces por su carácter no lineal o caótico.

Desde la perspectiva del manejo integral costero, el subsistema ambiental es quizá uno de los que históricamente han sido más estudiados, seguido del de gobernanza, el cual en las últimas dos décadas ha tenido un fuerte desarrollo, al igual que el social, a partir sobre todo, de la participación comunitaria en la toma de decisiones y de los problemas de vulnerabilidad y riesgo que plantea el cambio climático (Berkes *et al.*,



Figura 2. Subsistemas constituyentes de la zona costera considerados en este estudio (fuente: elaboración propia).

2003; Berkes, 2006; Perry *et al.*, 2010; Patterson *et al.*, 2011; Armitage *et al.*, 2012; Charles, 2012; McGinnis y Ostrom, 2014; Itho *et al.*, 2018).

La incorporación del subsistema tecnológico tiene que ver, por una parte con toda la infraestructura presente en las zonas costeras, como por ejemplo: puertos, plataformas petroleras y obras de protección costera, pero también con la infraestructura tecnológica asociada con la investigación marina como boyas, anclajes, sistemas de monitoreo, buques de investigación, satélites de observación, drones, etc., y más recientemente pero aún en etapas iniciales en el país, con la tecnología para generar energía (granjas eólicas marinas o costeras, sistemas undomotrices, etc.).

Finalmente, el subsistema económico incorpora todas aquellas actividades que se dan en la zona costera y que generan recursos como el turismo, el comercio, la pesca, la agricultura, la ganadería, la extracción de recursos, etc.

Al interior de estos subsistemas se encontrarían los diferentes componentes, los cuales pueden incluir, procesos, variables o elementos del sistema costero en diferentes categorías.

Adicionalmente la operación de estos procesos, variables o elementos puede ocurrir en de forma episódica o continua y con diferentes escalas espaciales y temporales de actuación.

A continuación se presenta un listado no exhaustivo de algunos de los procesos, variables o elementos que pudieran estar presentes en los subsistemas que conforman la zona costera.

- Subsistema ambiental
 - Procesos, variables o elementos físicos.

- Procesos variables o elementos químicos.
- Procesos variables o elementos biológicos.
- Procesos variables o elementos geológicos.
- Subsistema social
 - Procesos, variables o elementos relacionados con el crecimiento poblacional.
 - Procesos, variables o elementos relacionados con la participación social en la toma de decisiones.
 - Procesos, variables o elementos relacionados con la educación, la salud, la vivienda, la cultura, el deporte, la recreación y la contemplación.
 - Procesos variables o elementos relacionados con la vulnerabilidad y el riesgo.
- Subsistema económico
 - Proceso, variable o elementos relacionados con la extracción de productos vivos (*e.g.* pesca) y no vivos (*e.g.* minerales).
 - Procesos, variables o elementos relacionados con la producción de bienes o prestación de servicios.
 - Procesos, variables o elementos relacionados con el comercio internacional y transporte marítimo.
 - Proceso, variables o elementos relacionados con la generación de energía y almacenamiento de combustibles.
- Subsistema de gobernanza
 - Procesos, variables o elementos relacionados con leyes, regulaciones y normatividad.
 - Procesos, variables o elementos relacionados con los diferentes poderes y niveles de gobierno.

- Procesos, variables o elementos relacionados con acuerdos internacionales.
- Participación social
- Subsistema tecnológico
 - Procesos, variables o elementos relacionados con infraestructura de protección, abrigo, comunicaciones y transportes.
 - Procesos, variables o elementos relacionados con sistemas tecnológicos para la investigación científica.
 - Procesos, variables o elementos relacionados con sistemas tecnológicos

e infraestructura relacionada con la generación de energía.

- Procesos, variables o elementos relacionados con sistemas tecnológicos e infraestructura para asegurar la seguridad nacional.

Si consideramos todas las partes que integran estos elementos de los distintos subsistemas, las diferentes escalas de actuación espaciales y temporales de cada uno de ellos y las interacciones que se pudieran dar al interior o entre los diferentes subsistemas, es posible entender la complejidad del estudio y la gestión de la zona costera.

Necesidades de gobernanza de la zona costera

El capítulo segundo transitorio de la Política Nacional de Mares y Costas de México establece que los gastos de aplicación de la misma deberán ser aportados por los integrantes de la Comisión Intersecretarial para el manejo sustentable de Mares y Costas (CIMARES), y en ejercicios subsecuentes con los que sean asignados en el presupuesto de egresos de la federación. En el momento del decreto (2018), dicha comisión estaba compuesta por las siguientes Secretarías: Marina; Gobernación; Relaciones Exteriores; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Economía; Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Comunicaciones y Transportes; Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, y Turismo. De acuerdo al conocimiento de los autores, en el presupuesto de egresos 2019 no aparece ningún rubro destinado a CIMARES.

En este sentido, la primera necesidad de las costas mexicanas es contar con un presupuesto adecuado para la operación de la CIMARES y la implementación de la PNM.

Por otra parte, y no exento de controversia, la necesidad de contar con una ley específica para estas regiones territoriales aun es un elemento no resuelto. Académicos y tomadores de decisiones abogan por la existencia de dicha ley o la rechazan, argumentando el inmenso número de leyes sectoriales que aplican en las regiones costeras. La interrogante principal que se debería abordar sería, en caso de que se propusiera una ley de costas ¿qué debería establecer? ¿qué debería de normar? ¿qué cuerpos y programas de apoyo para implementar la PNM debería crear?

Más allá de los aspectos normativos existentes y de los cuerpos de coordinación ya establecidos, es necesario contar con un inventario nacional costero, en el que se establezcan espacialmente los recursos existentes, la ubicación de los actores y usuarios y diversos elementos ya normados como la delimitación de la zona federal marítimo terrestre, en una escala adecuada para

realizar un manejo integral costero cuando menos a escala municipal.

Por otra parte la propuesta de creación de una Agencia Mexicana de Mares y Costas debería ser retomada y analizada con cuidado, porque brindaría un marco de referencia para la integración, homogeneización y generación de guías de acción para el conocimiento técnico de las zonas costeras del país.

Un elemento más a considerar son las recurrentes crisis económicas del país, las cuales han afectado a la comunidad científica y técnica, limitando la obtención de datos con amplia cobertura espacial y de manera continua por largos periodos temporales, lo que ha producido un conocimiento exclusivamente puntual y disperso de las variables y procesos que ocurren en las zonas costeras.

La participación social en la toma de decisiones queda garantizada en la PNMC,

como uno de sus principios rectores. Sin embargo, es importante fortalecer los mecanismos de participación que han resultado exitosos en el pasado como los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT), los Consejos de Cuenca (CONAGUA), los Comités de Playas Limpias (SEMARNAT) y los Consejos para el Desarrollo Rural Sustentable (SAGARPA) entre otros. En el ámbito municipal, la participación de instancias académicas y de grupos de investigación como cuerpos asesores o consultores en la toma de decisiones de los cabildos debería fomentarse y tratar de normarse para asegurar su permanencia en el tiempo. De igual forma la incorporación del tema de playa y costas en los Comités de Planeación Municipal, que pudieran incidir –respetando sus funciones y atribuciones– en la elaboración de Planes de Desarrollo Municipales con una visión más costera y marina sería deseable.

Problemática de la gobernanza de las zonas costeras

Más allá de la problemática que generan algunas variables de los subsistemas que están presentes en la zona costera como la contaminación del litoral (subsistema ambiental) debido al uso de sustancias químicas en la práctica de la agricultura (subsistema económico) que pudieran generar problemas de salud pública (subsistema social), desde el punto de vista de la gobernanza, la interacción entre sectores y usuarios resulta uno de los problemas más difíciles de tratar, dada la complejidad de funciones y atribuciones de los diferentes niveles de gobierno que tienen facultades de actuación o que se las atribuyen por desconocimiento.

Un breve análisis a partir de la teoría de redes sociales (Wasserman y Faust, 1994; Missaoui y Sarr, 2014; Borgatti *et al.*, 2014; Aguilar-Gallegos *et al.*, 2017), la cual es una metodología que permite –entre otras cosas– cuantificar el número, tipo e intensidad de las interacciones entre diferentes grupos sociales o usuarios de algún recurso, con el fin de entender la densidad y cohesión de las redes y, para determinar la importancia, influencia y prominencia de determinados actores (Roca *et al.*, 2015), se utilizó para tratar de clarificar el comportamiento del sistema complejo “zona costera mexicana”.

Las actividades desarrolladas en las costas consideradas en este ejercicio fueron las siguientes: residencia, turismo, comercio, pesca y acuicultura, extracción de petróleo, conservación y administración. Fueron considerados tres tipos de actores, a saber: instancias gubernamentales, instancias no gubernamentales locales (operando en la zona costera) e instancias no gubernamentales externas (pudieran o no estar asentados u operando en las zonas costeras). La tabla 1, presenta la relación de actores considerados.

El análisis produjo un poco más de 600 relaciones entre los actores, no es claro ningún actor principal y también es difícil es-

tablecer la prominencia de alguno de ellos (ver figura 3).

Desde el punto de vista de la gobernanza, la figura 3 muestra un claro ejemplo de la complejidad que representa gestionar las zonas costeras mexicanas, la multiplicidad de actores presentes y las innumerables interacciones entre ellos.

En un segundo análisis, se decidió agrupar algunos elementos del listado de actores en nuevas categorías generales, fundamentalmente se integraron las secretarías de estado e instancias de la administración pública federal como parte del Gobierno Federal (GF). La matriz de interacciones generada se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Relación de actores considerados en el análisis de redes.

Gubernamentales	No Gubernamentales Locales	No Gubernamentales Externos
SEMARNAT	Pescadores y acuicultores (PyA)	Agencias internacionales
SEMAR	Prestadores de servicios turísticos (PST)	Organizaciones no gubernamentales ONG
SEDATU	Sistema de transporte marítimo (STM)	Instituciones académicas (IA)
SECTUR	Turistas	Fundaciones
SCT	Industrias	
SAGARPA	Comercios	
SEDESOL	Empresas extractoras de petróleo (EEP)	
SENER	Población en general	
SHCP		
CONAPESCA		
COFEPRIS		
INECC		
CONANP		
CONABIO		
CONACIO		
PROFEPA		
Gobiernos Estatales (GE)		
Gobiernos Municipales (GM)		
Fuente: elaboración propia		

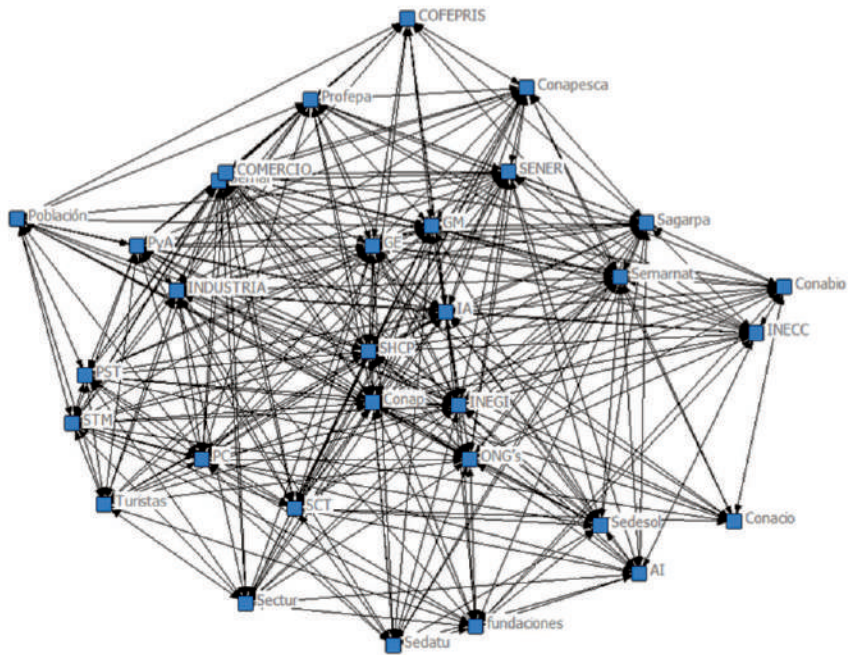


Figura 3. Red de interacciones generada a partir de los principales actores de las zonas costeras mexicanas (fuente: elaboración propia).

Tabla 2. Matriz de interacción entre actores de la zona costera.

	GF	GE	GM	IA	ONG	PyA	PST	STM	Turistas	Población	Industria	Comercio	EEP	Total
GF	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11
GE	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	10
GM	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
IA	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
ONG	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	11
PyA	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	10
PST	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	10
STM	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	11
Turistas	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	9
Población	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	9
Industria	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	7
Comercio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	11
EEP	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	7

Fuente: elaboración propia (GF= Gobierno Federal; GE= Gobierno Estatal; GM= Gobierno Municipal; IA= Instituciones Académicas; ONG= Organizaciones no Gubernamentales; PyA= Pescadores y Acuicultores; PST= Prestadores de Servicios Turísticos; STM= Sistema de Transporte Marítimo; EEP= Empresas extractoras de petróleo).

Con esta nueva estructura se generaron 130 relaciones (ver figura 4).

La agrupación realizada, si bien pierde detalles, permite visualizar más las características de la red. Muestra una alta densidad medida por el número de actores entre los que se espera que se generen intercambios. En consecuencia, no existe ningún factor claramente central, pero se destacan gobierno municipal y las instituciones académicas con el máximo de vínculos posibles (12 en cada caso), mientras en el extremo opuesto de esta escala, los actores con menos relaciones (7) son la industria y las empresas extractivas de petróleo, de poca presencia en la zona.

El primero de los resultados mencionados es positivo para la gobernanza en la medida en que el municipio es el nivel de gobierno que se espera sea más cercano a la población. Esta última sólo alcanza 9 vínculos, debido justamente a su limitada oportunidad de interactuar con el Gobier-

nos Estatal, y menos aún, con el Federal. En este sentido, las ONG también muestran una alta centralidad (11 vínculos), que a menudo facilita relación entre los gobiernos y las sociedades. En cuanto a las instituciones académicas, es fundamental que su trabajo recoja los análisis, opiniones y valoraciones de todos los integrantes de la red, independientemente de su poder de influencia.

Este es un primer acercamiento al análisis de la complejidad en una red de gobernanza, con base en el número de actores involucrados en la gestión costera y sus interrelaciones; sin embargo, es posible profundizar en ellos mediante el estudio de variables complementarias como: la frecuencia, intensidad y reciprocidad de las relaciones, los recursos y temas en que se producen intercambios y la posibilidad de cada actor de incidir en las decisiones que les atañen, entre otros.

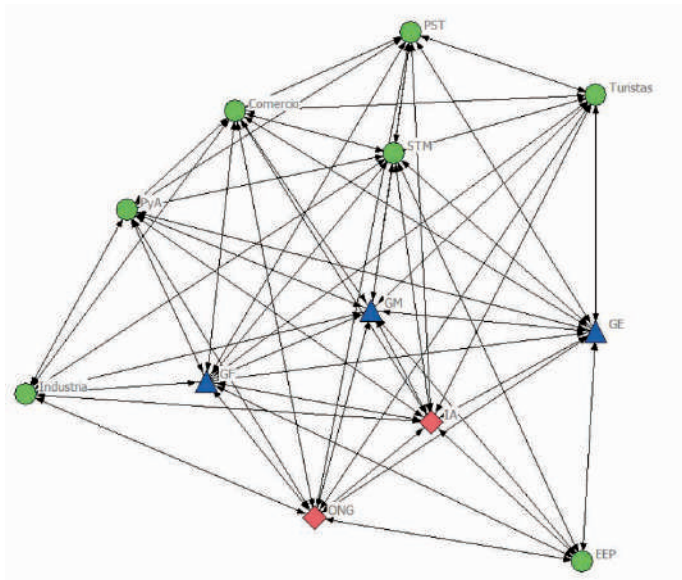


Figura 4. Red de interacciones generada a partir de actores agrupados de las zonas costeras mexicanas. Nota: círculo verde representa a Gobiernos, cuadrado rojo a Organismos no Gubernamentales externos y triángulos azules a Organizaciones no Gubernamentales locales (elaboración propia).

Recomendaciones para tomadores de decisiones: lecciones aprendidas

En primer lugar es necesario contar con un liderazgo y compromiso claro de los diferentes actores involucrados en la CIMARES, con el fin de ubicar los temas relacionados con las costas y mares mexicanos en el nivel más alto de la agenda política nacional, y disponer de un presupuesto adecuado para la implementación de la PNMC. El decreto de la PNMC, por sí solo, no será suficiente para alcanzar un mayor equilibrio y desarrollo de las zonas costeras, es necesario que se instrumentan sus principios y se busque alcanzar sus objetivos y metas.

En segundo lugar el fortalecimiento de las capacidades humanas, técnica y económicas de los municipios con frente litoral prioritarios, se debe realizar tanto desde una visión cúspide-base (con el apoyo de las distintas instancias de la administración pública federal y los gobiernos estatales), como en sentido opuesto base-cúspide, con el apoyo de las instancia académicas y de investigación locales, con las organizaciones de la sociedad civil que operan a nivel municipal o comunitario y con todos los grupos de interés presentes en espacios litorales específicos de los municipios (e.g. zonas hoteleras, puertos y marinas, industrias, comercios, regiones acuícolas, etc.).

En tercer lugar es necesario desarrollar los instrumentos que pueden ayudar a la gestión costera ya previstos en la PNMC, como sería la construcción del inventario nacional costero o el sistema de monitoreo e información marina y costera. No es posible planear sin conocer una línea base o gestionar lo que no se conoce.

Adicionalmente se deberán concluir, actualizar y sobre todo aplicar a nivel local los resultados de los procesos de ordenamiento ecológico, de los programas estatales y municipales de acción climática, de regulación y ordenamiento pesquero y acuícola, y de los atlas de riesgo, entre otros instrumentos. La vigilancia en la aplicación de estos lineamientos e instrumentos es un factor crítico para su éxito y deberán participar todos los niveles de gobierno de acuerdo a sus competencias.

Se deberán impulsar nuevos instrumentos de gobernanza como los esquemas de certificación sustentable de los procesos y actividades productivas para los municipios costeros, asociados a los servicios ecosistémicos en la zona marino-costera y todos aquellos relacionados con la promoción del incremento de la capacidad instalada de energías renovables en los estados costeros y la búsqueda de nuevas alternativas para la generación de energía más limpia a partir de los recursos presentes en los mares y costas.

Es fundamental como país tener claro qué tipo de desarrollo costero se quiere; cómo se deben de abordar las incertidumbres y retos que plantea el cambio climático en las zonas costeras; cómo lograr tener un desarrollo económico equitativo sin perjuicio de la calidad ambiental y de los servicios ecosistémicos que prestan las costas o cómo fortalecer la gobernanza costera, entre otras muchas preguntas.

Literatura citada

- Aguilar-Gallegos, N., E.G. Martínez-González, y J. Aguilar-Ávila, 2017. Análisis de redes sociales: Conceptos clave y cálculo de indicadores. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIES-TAAM). Serie: Metodologías y herramientas para la investigación, Volumen 5.
- Armitage, D., R. Loe, y R. Plummer, 2012. Environmental governance and its implications for conservation practice. *Conservation Letters*, 5:245-255.
- Azuz, I., y E. Rivera, 2009. Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. *Papeles de Población*, 15(62): 75-107.
- Berkes, F., 2006. From Community-Based Resource Management to Complex Systems: The Scale Issue and Marine Commons. *Ecology and Society*, 11(1): 45.
- Berkes, F., J. Colding, y C. Folke, 2003. Navigating Social-Ecological Systems. Building Resilience for Complexity and Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Borgatti S.P., M.G. Everett, y L.C. Freeman, 2014. UCINET. In Alhajj R., Rokne J. (eds). Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining. Springer, New York, NY.
- Burroughs, R., 2011. Coastal Governance. Island Press, Washington, Covelo and London.
- Charles, A., 2012. People, oceans and scale: governance, livelihoods and climate change adaptation in marine social-ecological systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4:351-357.
- Cicin-Sain, B., y R.W. Knecht, 1998. Integrated Coastal and Ocean Management. Island Press, Washington, D.C. and Covelo, California.
- Curtis, K.J., Fusell, E. and J. DeWard, 2015. Recovery Migration after Hurricanes Katrina and Rita: Spatial Concentration and Intensification in the Migration System. *Demography*, 52: 1269-1293.
- Ehler, C., 2003. Indicators to measure governance performance in integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 46: 335-345.
- Ehler, C., y F. Douvere, 2009. Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. IOC Manual and Guides No. 53, ICAM Dossier No. 6. UNESCO, Paris.
- Erlanson, J.M., y T.J. Braje, 2015. Stemmed Points, the Coastal Migration Theory, and the Peopling of the Americas. p. 49-58. In: M.D. Frachetti and R.N. Spengler III (Eds.). Mobility and Ancient Society in Asia and the Americas. Springer International Publishing, Switzerland.
- Islam, M.R., y M. Hasan, 2016. Climate-induced human displacement: a case study of Cyclone Aila in the south-west coastal region of Bangladesh. *Natural Hazards*, 81: 1051-1071.
- Itho, S., A. Takeshige, A. Kasai, y S. Kimura, 2018. Modeling the coastal ecosystem complex: present situation and challenges. *Fisheries Science*, 84: 293-307.
- Kay, R., y J. Alder, 2005. Coastal Planning and Management. Spon Text, Taylor & Francis, London and New York.
- Kohn, J. and J. Gowdy, 1999. Coping with complex and dynamic systems. An approach to a transdisciplinary understanding of coastal zone developments. *Journal of Coastal Conservation*, 5:163-170.
- McGinnis, M.D., y E. Ostrom, 2014. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2): 30.
- Mallick, B. and J. Vogt, 2014. Population displacement after cyclone and its consequences: empirical evidence from coastal Bangladesh. *Natural Hazards*, 73:191-212.
- Missaoui, R., y I. Sarr, 2014. Social Network Analysis – Community Detection and Evolution. Springer International Publishing AG, Switzerland.
- Newmann, B., K. Ottis, y R. Kenchington, 2017. Strong sustainability in coastal areas: a conceptual interpretation of SDG 14. *Sustainability Science*, 12: 1019-1035.
- Odum, E. P., 1987. Ecología. Nueva Editorial Interamericana, México, D.F.
- Otter, H.F., y M. Capobianco, 2000. Uncertainty in integrated coastal zone management. *Journal of Coastal Conservation*, 6: 23-32.

- Paterson, D.M., N.D. Hanley, K. Blake, E.C. De-few, y M. Solan, 2011. Biodiversity, ecosystems and coastal zone management: linking science and policy. *Marine Ecology Progress Series*, 434: 201-202.
- Perch-Nielsen, S.L., M.B. Battig, y D. Imboden, 2008. Exploring the link between climate change and migration. *Climatic Change*, 91:375-393.
- Perry, R.I., M. Barange, y R.E. Ommer, 2010. Global changes in marine systems: A social-ecological approach. *Progress in Oceanography*, 87:331-337.
- Portman, M.E., 2016. Environmental Planning for Oceans and Coasts. Geotechnologies and the Environment 15, Springer International Publishing, Switzerland.
- Roca, E., M. Villares, L. Oroval, y A. Gabarró, 2015. Public perception and social network analysis for coastal risk management in Maresme Sud (Barcelona, Catalonia). *Journal of Coastal Conservation*, 19: 693-706.
- Smith, H.D., F. Maes, T.A. Stojanovic, y R.C. Ballinger, 2011. The integration of land and marine spatial planning. *Journal of Coastal Conservation*, 15: 291-303.
- Tett, P., Mette, A., A. Sandberg, y D. Baily, 2011. The System Approach. p. 53-78. In Tett, P., A. Sandberg and A. Mette (Eds.). *Sustaining Coastal Zone Systems*. Dunedin Academic Press, Edinburgh, Scotland.
- The Heinz Center, 2002. Human links to coastal disasters. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, Washington, D.C.
- Turner, R.K., y M. Schaafsma, 2015. Coastal Zones Ecosystem Services. From Science to Values and Decision Making. Springer International Publishing AG, Switzerland.
- Visser, L., 1999. Coastal zone management from the social scientific perspective. *Journal of Coastal Conservation*, 5:145-148.
- Wasserman, S., y K. Faust, 1994. Social network analysis: methods and applications. Cambridge University Press, New York
- Westley, K. and J. Dix, 2006. Coastal environments and their role in prehistoric migrations. *Journal of Marine Archeology*, 1: 9-28.

Ecosistemas marinos complejos

I. Azuz-Adeath, L. Rodríguez-Cardózo y H. Alonso-Peinado

Resumen

La gobernanza de los sistemas marinos resulta complicada de establecer y operar debido a las características y dinámica propia de los sistemas y elementos presentes. El espacio marino puede ser visualizado como un sistema tridimensional con una frontera fija en el fondo, una superficie libre y límites latitudinales y longitudinales que pueden ser fijos o no, en donde los gradientes al interior de la masa de agua de distintas variables (*e.g.* temperatura, salinidad, densidad) y los fenómenos asociados a las fuerzas físicas actuantes (*e.g.* mareas, olas, corrientes) condicionan la existencia, distribución, dispersión y movilidad de los recursos naturales, los cuales además pueden ser sujetos de conservación o aprovechamiento por parte del ser humano, en el marco de una serie de leyes y ordenamientos internacionales, nacionales o regionales. Adicionalmente, los mares interactúan con los continentes y la atmósfera, siendo una parte fundamental de muchos ciclos bio-geo-químicos que dan viabilidad al desarro-

llo de la civilización, pero que además funcionan como receptores de gran parte de la contaminación originada en tierra. Por otra parte, en los mares se están presentando de manera acentuada los efectos del cambio climático (*e.g.* aumento acelerado del nivel del mar, acidificación del océano, incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos) y al mismo tiempo son un importante sumidero de bióxido de carbono atmosférico. En este capítulo, el estudio de los ecosistemas marinos se desarrollará desde una perspectiva de sistemas a partir del incremento en la complejidad espacial y temporal, iniciando su estudio con una visión bidimensional (tanto en vertical como en horizontal) en escalas de tiempo que resulten de utilidad para el ser humano y se profundizará su entendimiento hasta considerar un sistema tridimensional en escalas del orden de cientos de años.

Palabras clave: ecosistemas marinos, sistema tridimensional.

Introducción

Los fluidos que componen la tierra (océanos, atmósfera, zonas de hielo, ríos) y los continentes, crean patrones de movimiento y estructuras de interacción complejas en diferentes escalas espaciales y temporales en todo el planeta. La dinámica de este sistema es generada por las diferencias en los niveles de radiación solar que recibe la tierra y sus movimientos en el espacio (*i.e.* rotación, traslación, precesión) al igual que por la acción de la gravedad –como fuerza restituyente– sobre dichos fluidos. Al interior de este sistema operan los ciclos biogeoquímicos, gradientes verticales y horizontales de presión, temperatura y salinidad, cambios de presión atmosférica en la superficie del océano, diferentes patrones de viento y oleaje, procesos tectónicos y sedimentarios e innumerables fenómenos de carácter biológico y químico.

El ser humano, desde sus orígenes, ha utilizado los océanos a través de la navegación para el transporte y el comercio; al igual que sus recursos para la alimentación, en la extracción de minerales, para la generación de energía, como fuente de

medicinas y productos de bienestar social; con fines bélicos y de seguridad nacional e incluso para la recreación y el ocio.

La importancia de preservar la calidad de los océanos y mares a nivel internacional ha quedado claramente establecida, por ejemplo, en los objetivos de desarrollo de las Naciones Unidas, en particular el objetivo 14, el cual establece la necesidad de conservarlos y usarlos de manera sustentable. Para México, una revisión sobre el particular se puede encontrar en Rivera-Arriaga y Azuz-Adeath (2019). La Unión Europea, también recientemente, ha definido como objetivo principal de la gobernanza oceánica el asegurar que estos ambientes sean seguros (en términos de navegación y de violencia), limpios, saludables y manejados de manera sustentable (EU, 2019). Para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la gobernanza de las aguas y lechos marinos internacionales incluye los procesos, acuerdos, reglas e instituciones desarrolladas para organizar la forma en que los humanos usen los océanos y sus recursos (UICN, 2019).

Se pueden mencionar algunos temas emergentes de la gobernanza oceánica y marina que han puesto a prueba la colaboración y el descubrimiento de nuevas formas de trabajo internacional, como serían los casos de: la gobernanza en los mares y regiones árticas (Weidemann, 2014; Vestergaard *et al.*, 2018; Wilson, 2018), la extensión de las zonas económicas exclusivas por la creación de islas artificiales (Bekman, 2013; Singh y Yamamoto, 2017), los derrames petroleros (Mei y Yin, 2009; Jernelev, 2010; Yim y Short, 2017), las arribazones extraordinarias de sargazo en el mar Caribe (Johnson *et al.*, 2012; UNEP, 2018; Burrowes *et al.*, 2019) o la contaminación por plásticos –en todos sus tamaños– de los océanos mundiales (Sharma y Chatterjee, 2017; Tiller y Nyman, 2018; Belontz *et al.*, 2019; Takada y Karapanaioti, 2019).

En México, tanto el territorio insular como el oceánico son dos de los espacios a los que se les ha prestado históricamente una atención muy limitada. Desde el punto de vista legal, la superficie marina de México está constituida por el mar territorial y la zona económica exclusiva, y comprende una superficie de 3 149 920 km². De acuerdo con la Ley Federal del Mar (1986), las zonas marinas mexicanas son: el mar territorial, las aguas marinas interiores, la zona contigua, la zona económica exclusiva, la plataforma continental y las plataformas insulares.

De acuerdo con la mencionada ley, la nación ejerce su soberanía sobre:

- Las obras, islas artificiales, instalaciones y estructuras marinas.
- Los recursos marinos vivos.
- Los recursos marinos no vivos.
- El aprovechamiento económico del mar y sus recursos (minerales disueltos, producción de energía, desarrollo de

la zona costera, maricultura, establecimiento de parque marinos nacionales, promoción de la recreación y el turismo y el establecimiento de las comunidades pesqueras.

- La protección y preservación del medio marino.
- La realización de investigación científica marina.

La Ley General del Mar establece que el mar territorial del país, tiene una anchura de 12 millas marinas (22 224 m), y las aguas marinas interiores por su parte, son aquellas comprendidas entre las costas (continentales e insulares) y las líneas base, normales o rectas a partir de las cuales se mide el mar territorial. La soberanía nacional se extiende al espacio aéreo, al lecho y al subsuelo de estas aguas. La zona contigua se ubica adyacente al mar territorial y se extiende por 24 millas marinas (44 448 m) contadas a partir de las líneas base que definen el mar territorial. El límite inferior de la zona contigua coincide con el límite exterior del mar territorial. La nación también ejerce su soberanía sobre la zona económica exclusiva (ZEE), la cual se sitúa fuera del mar y adyacente a este, dicha ZEE se extiende 200 millas náuticas (370 400 m) desde las líneas base a partir de las cuales se define la anchura del mar territorial.

En este sentido, la zona marina mexicana es un espacio geográfico tridimensional (subsuelo oceánico, plataforma continental, aguas marinas y espacio aéreo) definido horizontalmente a partir de las líneas base, las cuales siguen los contornos morfológicos del territorio continental e insular y verticalmente desde los límites exteriores del espacio aéreo mexicano hasta el subsuelo oceánico por debajo de los mares mexicanos (ver figura 1).

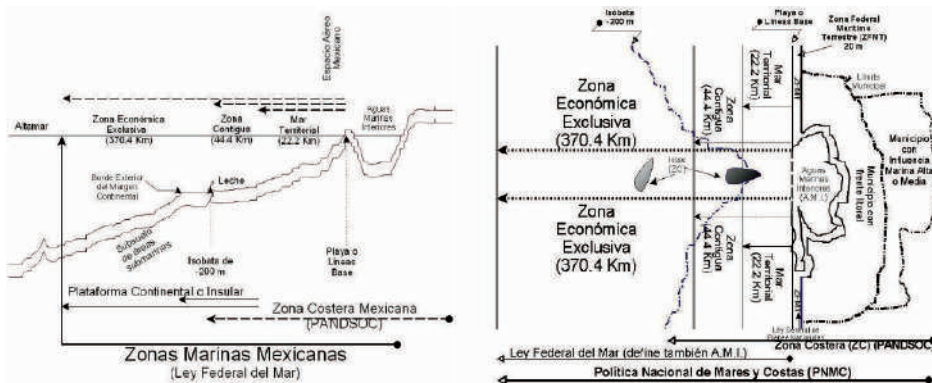


Figura 1. Esquematación en perfil (izquierda) y en planta (derecha) de la zona marina mexicana (Fuente: CIMARES, 2012).

La predominancia de los subsistemas ambientales (físico, químico, biológico y geológico) sobre los antropogénicos (*e.g.* pesca, transporte marítimo, seguridad naval, recreación) es evidente en el sistema de la zona marina mexicana. Muchos de los subsistemas, procesos y variables ambientales que condicionan el comportamiento de las zonas marinas mexicanas tienen escalas

de actuación tanto espaciales como temporales muy grandes, en muchos casos globales o hemisféricas, por lo que su gestión resulta compleja.

Este capítulo busca aportar algunos elementos que contribuyan a la gobernanza de las zonas marinas mexicanas a partir de una aproximación holística e integral basada en el concepto de sistemas complejos.

Elementos de gobernanza de los mares mexicanos

Con la Ley General del Mar de 1986 como referente legal para establecer las fronteras espaciales de las zonas marinas, la gobernanza en estas regiones territoriales se ha dado desde aproximaciones sectoriales.

A manera de ejemplos de instrumentos de gobernanza de las zonas marinas se pueden enunciar los siguientes:

- Carta Nacional Pesquera.
- Programas para el manejo de áreas naturales protegidas marinas.
- Programas de pago por servicios ambientales.

- Programas de ordenamiento ecológico marinos y regionales.
- Regiones marinas prioritarias de México.
- Humedales de importancias internacional (Sitios Ramsar).
- Grandes ecosistemas marinos.
- Regiones navales.
- Administraciones portuarias integrales (federales, estatales, privadas)
- Espacio aéreo

Dentro de las instancias públicas con facultades o que de alguna forma han estado

vinculadas con la gobernanza de los mares mexicanos se pueden citar:

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Secretaría de Energía.
- Secretaría de Gobernación.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Secretaría de Marina.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría de Relaciones Exteriores (administración de islas y protección civil)
- Secretaría de Turismo.
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).
- Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES).
- Coordinación Interinstitucional de Investigación Oceanográfica (CIO).
- Comisión Nacional Coordinadora de Investigación Oceanográfica (CONACIO).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Petróleos Mexicanos (PEMEX).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGOM)
- Observatorio del Mar y de las Zonas Costeras “Jacques-Yves Cousteau”
- Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (LANRESC)
- Servicio Geológico Mexicano (SGM)
- Servicio Meteorológico Nacional
- Agencia Espacial Mexicana
- Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)
- Centros de Investigación, Instituciones de Educación Superior y Centros Tecnológicos
- Instancias internacionales, multinacionales, binacionales y sus respectivos acuerdos, tratados y convenios.

Con el fin de entender la complejidad de la gobernanza oceánica de México, la figura 2 muestra algunos de los elementos presentes en las zonificaciones existentes. En esta escala de análisis, las trayectorias de desplazamiento de buques mercantes o cruceros turísticos, al igual que los movimientos de los barcos pesqueros no se logran visualizar. Por otra parte el conocimiento de los recursos existentes en los lechos marinos nacionales, cuando menos a nivel de información pública es inexistente, con excepción de las cartas batimétricas y portulanos.

Sin embargo, a pesar del importante número de instancias involucradas en la gobernanza de los mares mexicanos y la participación activa de los actores no gubernamentales involucrados, los programas de acción específicos son limitados. La participación de todos los actores y usuarios es indispensable para que se hable de gobernanza y no sólo de gobernabilidad. Esta se refiere a las propuestas, opiniones, decisiones y acciones aportadas por sectores de pescadores, turistas, transportistas, prestadores de servicios turísticos, empresas petroleras, investigadores, organizaciones no guber-

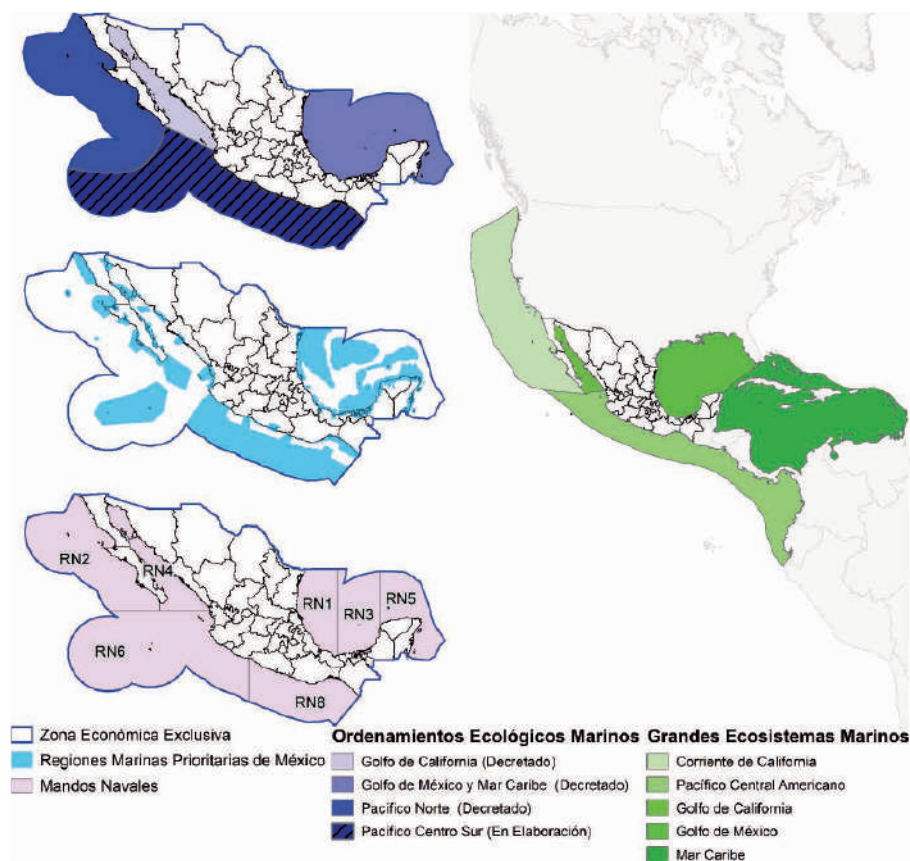


Figura 2. De la esquina superior izquierda y en el sentido contrario a las manecillas del reloj: Ordenamientos ecológicos marinos (DGPAIRS-SEMARNAT, 2012); Regiones marinas prioritarias de México (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998); Regiones navales (SEMAR, 2016); Grandes Ecosistemas Marinos (LMEs, 2019).

namentales, entre otros, para contribuir a la gestión de los ecosistemas marinos. Sus posiciones frente a temas de interés común no siempre son coincidentes entre sí ni con las autoridades gubernamentales, tampoco cuentan con capacidades de influencia política y económica similares, lo que incrementa la complejidad del sistema.

En relación con los programas, además de las acciones de protección, limpieza y vigilancia desarrolladas de manera regular por la Secretaría de Marina y la PROFEPA, es importante mencionar el Plan Nacional

de Contingencia para controlar y combatir los derrames de hidrocarburos y otras sustancias nocivas potencialmente peligrosas en las zonas marinas mexicanas (SEMAR, 2016), donde se definen con claridad responsabilidades y facultades de las instancias participantes y el Centro de Alerta de Tsunamis (CAT, 2019).

En el sector pesquero, el instrumento de gobernanza utilizado históricamente como programa de acción, ha sido la Carta Nacional Pesquera. Éste es el documento elaborado y actualizado por el Instituto

Nacional de Pesca y Acuicultura con la participación de otras instituciones gubernamentales, académicos y del sector dedicado a la actividad pesquera. Proporciona información que permite conocer dónde, cuándo y cuánto se permite pescar, sin alterar el equilibrio ecológico y la forma más adecuada para extraer especies susceptibles de aprovechamiento. Es un documento vinculante que indica las estrategias y acciones que se deben cumplir para regular la pesca en México (INAPESCA, 2019).

Una de las principales herramientas de gobernanza marina y costera que puso de manifiesto la complejidad de gestión de esta zonas, han sido los Ordenamientos Ecológicos Marinos y Regionales (OEMR) que se han desarrollado en gran parte del territorio marino nacional (Rosete *et al.*, 2005, 2009; Rosete y Enriquez, 2009; Espinoza-Tenorio *et al.*, 2014). Los procesos de OEMR dan inicio con la firma de un convenio de colaboración entre diferentes instancias de la administración pública federal y los gobiernos de los estados involucrados; después es necesario establecer el Comité de Ordenamiento Ecológico (COE), en el cual además de las instancias que firmaron el convenio de colaboración se incorporan representantes de los municipios costeros y de diferentes sectores que desarrollan actividades en la región de estudio. El COE está conformado por dos órganos el Órgano Ejecutivo y el Órgano Técnico. Las bases técnicas de los ordenamientos se generan por instituciones académicas y científicas y son revisados en sesiones públicas por ambos órganos. Las propuestas generadas son sometidas por ley a procesos de consulta pública y una vez incorporadas las modificaciones conducentes, son decretados, cobrando un carácter legal y vinculatorio. En

todo el proceso se cuenta con una bitácora ambiental pública (SEMARNAT, 2019).

Los programas o planes de manejo de las áreas naturales protegidas marinas son instrumentos de gobernanza que determinan las estrategias de conservación y uso de estas regiones. De acuerdo con el reglamento para las áreas naturales protegidas que se deriva de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), el plan o programa, es un instrumento rector de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y la administración del área natural protegida respectiva. Como instrumentos adicionales se cuenta con: los términos de referencia para la elaboración de los programas de conservación y manejo; los lineamientos para la formulación, revisión y modificación de los programas de manejo; y las cédulas de evaluación de los programas de manejo (CONANP, 2019).

En lo referente al impacto del cambio climático en los mares mexicanos, la Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas (INECC-SEMARNAT, 2018), establece entre las alteraciones identificadas: la elevación del nivel medio del mar; la acidificación del océano en las zonas costeras y la aparición de zonas muertas o de anoxia; la pérdida de especies y deterioro de ecosistemas; erosión de costas; declinación de pesquerías e incremento en los fenómenos hidrometeorológicos extremos, entre otros factores de presión. Sin embargo, el mismo documento indica que el potencial de captura y almacenamiento de los océanos es 50 veces mayor que el de la atmósfera. En este sentido, el cambio climático tendría que ser uno de los referentes para establecer una estrategia de gobernanza

za integrada de los mares y zonas costeras mexicanos, pero desafortunadamente, se carece de estudios con amplia cobertura espacial y con información regular por largos

periodos de tiempo que permitan establecer políticas y estrategias a nivel de todo el territorio nacional.

Necesidades

La gobernanza del territorio oceánico e insular mexicano puede ser abordada e instrumentada de manera articulada e integral, cuando menos desde cinco dimensiones diferentes (ver figura 3):

- **Dimensión de seguridad, protección y vigilancia.** Esta dimensión incluiría la vertiente de soberanía nacional, el combate a la violencia marina, narcotráfico y tráfico de personas, la protección civil ante fenómenos meteorológicos extre-

mos y tsunamis, todo tipo de derrames y vertidos marinos, la no introducción de especies exóticas en aguas de lastre, el seguimiento y apoyo en materia de seguridad a buques de carga y pasajeros en aguas nacionales, el seguimiento de embarcaciones pesqueras, espacio aéreo, etc.

- **Líneas base de investigación e información.** Esta dimensión incluiría la información que se genera en los ma-



Figura 3. Propuesta de referente conceptual para la gobernanza de los mares mexicanos.

Fuente: Elaboración propia.

res mexicanos, su adecuada gestión, procesamiento y difusión; los planes de investigación oceanográfica nacionales –incluido el apartado de buques- y exploraciones internacionales en aguas nacionales; la necesidad de contar con un inventario nacional de recursos vivos y no vivos en los mares nacionales; todos los elementos relacionados con la extracción, producción, almacenamiento y transporte de recursos energéticos (hidrocarburos y de energías renovables) e información del territorio insular.

- **Dimensión de la administración oceánica e insular nacional y adopción, instrumentación y seguimiento de compromisos internacionales.** Esta dimensión deberá abordar con especial énfasis los recursos biológicos –no pesqueros–, químicos y geológicos con alto potencial de aprovechamiento.
- **Dimensión del desarrollo económico y bienestar social.** Esta dimensión deberá tratar con elementos referentes al comercio marítimo, puertos, rutas de navegación, cruceros turísticos y demás elementos que propicien el desarrollo económico y el bienestar social de los pobladores y regiones costeras adyacentes.
- **Dimensión de cambio climático.** Esta dimensión deberá incorporar todos los elementos relacionados con la gober-

nanza de los fenómenos, impactos y respuestas asociados al cambio climático. Pudiera ser una dimensión articuladora de las demás y deberá pensarse en las escalas espaciales y temporales relevantes para tomar acciones de adaptación o mitigación al cambio climático. Por ejemplo, qué instrumentos se tienen para monitorear, reducir y prevenir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los distintos tipos de embarcaciones que se desplazan en los mares mexicanos (e.g. buques de carga, cruceros turísticos, embarcaciones pesqueras), quién tiene facultades para establecer los lineamientos correspondientes, quién vigila y aplica la ley, qué leyes existen sobre el particular, etc.

En opinión de los autores, CIMARES debería ser la instancia coordinadora de este esfuerzo interinstitucional dadas sus facultades legales. Para su correcto desempeño, es necesario que se presupuesten recursos económicos suficientes para instrumentar la Política Nacional de Mares y Costas de México, y para desarrollar esquemas de gobernanza que puedan ser evaluados de manera regular y periódica a partir de la colaboración con diferentes instancias académicas, de investigación y organizaciones de la sociedad civil y con la participación de los diferentes niveles de gobierno de los estados costeros de México.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

La gestión y gobernanza de los mares mexicanos y su territorio insular se debe realizar con una visión integral y de largo plazo, en la cual, el cambio climático sea un referente global. Temas como el impacto del aumento acelerado del nivel del mar sobre las costas mexicanas, el incremento en la intensidad y frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos, la acidificación del océano, el secuestro de carbono oceánico, las economías azules y temas relacionados deberán ser considerados en diferentes horizontes temporales y espaciales.

Se desconoce mucho del territorio marino e insular mexicano, por lo que se requiere una importante inyección de recursos económicos para su adecuado conocimiento y monitoreo permanente, bajo líneas de acción claras y bien definidas, en horizontes temporales adecuados para incorporar las variables asociadas al cambio climático y con una amplia cobertura espacial. Particularmente relevante son las carencias de información científica con amplia cobertura espacial de las distintas variables y pro-

cesos que ocurren en la columna de agua y fondos oceánicos, al igual que los recursos con los que el país cuenta.

Una deficiencia de la gobernanza mexicana en lo que respecta a sus zonas marinas es la falta de seguimiento en la implementación de acuerdos y convenios internacionales. Una revisión detallada de los compromisos signados por el país es necesaria y una mayor vinculación entre las instancias responsables (poderes, secretarías de la administración pública federal, instancias de investigación y cuerpos de coordinación).

La componente de seguridad en las zonas marinas (narcotráfico, pesca ilegal, tráfico de personas, seguimiento de la navegación, etc.) es un tema emergente que debe ser tratado con especial atención.

Finalmente es importante dejar a un lado la visión “de espaldas al mar” que ha regido por mucho tiempo la visión oficial del país y buscar respuesta a la pregunta: Como país, ¿en qué nos beneficia tener una extensión marina mayor que la terrestre?

Literatura citada

- Arriaga Cabrera, L., E. Vázquez Domínguez, J. González Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López, y V. Aguilar Sierra (coordinadores), 1998. Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. Fecha de acceso: 14 de mayo de 2019. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Mmapa.html>
- Bekman, R., 2013. The UN Convention on the Law of the Sea and the Maritime Disputes in the South China Sea. *The American Journal of International Law*, 107: 142-163.
- Belontz, S.L., P.L. Corcoran, H. Davis, K.A. Hill, K. Jazvac, K., Robertson, y K. Wood, 2019. Embracing an interdisciplinary approach to plastics pollution awareness and action. *AMBIO*, 48: 855-866.
- Burrows, R., C. Wabnitz, y J. Eyzaguirre, 2019. The Great Sargassum Disaster of 2018. Fecha de acceso: 14 de mayo de 2019. <https://essa.com/the-great-sargassum-disaster-of-2018/>
- CAT, 2019. Centro de Alerta de Tsunamis (CAT). Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Secretaría de Marina. Fecha de acceso: 19 de mayo de 2019.

- <https://digaohm.semar.gob.mx/cat/centroAlertasTsunamis.html>
- CIMARES, 2012. Política Nacional de Mares y Costas de México. Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES), SEMARNAT, IPN, México, D.F. 97 pp.
- CONANP, 2019. Áreas Naturales Protegidas de México. Fecha de consulta: 21 de marzo del 2019. <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programas-de-manejo>
- DGPAIRS-SEMARNAT, 2012. Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Fecha de acceso: 14 de mayo de 2019. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/02_ecosistemas/recuadro4.html
- Espinoza-Tenorio, A., M. Moreno-Baez, D. Pech, G. Villalobos-Zapata, L. Vidal-Hernández, J. Ramos-Miranda, M. Mendoza-Carranza, J.A. Zepeda-Domínguez, G. Alcalá-Moya, J.C. Pérez-Jiménez, F. Rosete, C. León e I. Espejel, 2014. El ordenamiento ecológico marino en México: un reto y una invitación al quehacer científico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(3):386-400.
- EU, 2019. Joint report to the European parliament and the council. Improving International Ocean Governance – Two years of progress. European Commission, Brussels. 6 pp.
- INAPESCA, 2019. Carta Nacional Pesquera. Fecha de consulta: 10 de mayo del 2019. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/carta-nacional-pesquera-51204>
- INECC-SEMARNAT, 2018. México. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Fecha de consulta: 11 de junio de 2019. <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/117>
- Jernelov, A., 2010. The Threats from Oil Spills: Now, Then, and in the Future. *AMBIO*, 39: 353-366.
- Johnson, D.R., D.S. Ko, J.S. Franks, P. Moreno, y G. Sánchez-Rubio, 2012. The Sargassum Invasion of the Eastern Caribbean and Dynamics of the Equatorial North Atlantic. *Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, GCFI: 65.
- LMes, 2019. Large Marine Ecosystem. Fecha de acceso: 14 de mayo de 2019. <http://onsharedocean.org/lmes>
- Mei, H., y Y. Yin, 2009. Studies on Marine Oil Spills and Their Ecological Damage. *Oceanic and Coastal Sea Research*, 8(3):312-316.
- Rivera-Arriaga, E. and I. Azuz-Adeath, 2019. Implementing the SDG14 in Mexico: Diagnosis and Ways Forward. *Revista Costas*, 1(1):1-18.
- Rosete, F.A., G. Enríquez-Hernández, y A. Córdova-Vázquez, 2005. El ordenamiento ecológico marino y costero: tendencias y perspectivas. *Gaceta Ecológica*, 76: 67-83.
- Rosete, F., y G. Enríquez, 2009. Conclusiones generales y agenda de investigación. p. 225-229. En: A. Córdova, F. Rosete-Verges, G.H. Enríquez & B. Fernández de la Torre (eds.). Ordenamiento ecológico marino. Visión integrada de la regionalización. SEMARNAT, INE, México.
- Tiller, R., y E. Nyman, 2018. Ocean plastics and the BBNJ treaty—is plastic frightening enough to insert itself into the BBNJ treaty, or do we need to wait for a treaty of its own?. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 8: 411-415.
- SEMAR, 2016. Regiones Navales de México. Secretaría de Marina. Fecha de acceso: 14 de mayo de 2019. <https://www.gob.mx/semar/prensa/la-secretaria-de-marina-armada-de-mexico-realiza-cambio-en-sus-mandos-navales>
- SEMARNAT, 2019. Bitácoras Ambientales. Fecha de acceso: 14 de mayo de 2019. <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamiento-ecologico/bitacora-ambiental/bitacora-ambiental-golfo-de-california>
- Sharma, S., y S. Chatterjee, 2017. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science Pollution Research*, 24:21530–21547
- Singh, S., y L. Yamamoto, 2017. China's artificial islands in the south China sea: geopolitics versus Rule of Law. *Revista de Direito Economico e Socioambiental*, 8(1):4-23.
- Takada, H., y H.K. Karapanagioti, 2019. Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment. Springer, Cham, Switzerland. 315 p.
- UICN, 2019. International Ocean Governance. Fecha de acceso: 17 de marzo de 2019. <https://www.iucn.org/theme/marine-and-polar/our-work/international-ocean-governance>
- UNEP, 2018. Sargassum White Paper - Sargassum Outbreak in the Caribbean: Challenges, Opportunities and Regional Situation. United Nations Environmental Programme (UNEP),

- UNEP(DEPI)/CAR WG.40/ INF8, Panama City, Panama. 14 p.
- Vestergaard, N., B.A. Kaiser, L. Fernandez, y J.N. Larsen, 2018. Arctic Marine Resource Governance and Development. Springer, Cham, Switzerland. 235 p.
- Weidemann, L., 2014. International Governance of the Arctic Marine Environment. Springer, Cham, Heidelberg. 251 p.
- Wilson, E., 2018. Arctic governance. Power in cross-border cooperation. Manchester University Press, Manchester. 164 p.
- Yin, U.H., y J. Short, 2017. Marine Environmental Emergencies in the North Pacific Ocean: Lessons Learned from Recent Oil Spills. *Archives of Environmental Contamination Toxicology*, 73:1–4.

Importancia del monitoreo costero para la construcción de la resiliencia

A. Ruiz de Alegría-Arzaburu y G. Medellín

Resumen

Las costas están en constante cambio en respuesta a la acción del oleaje, mareas, viento y corrientes responsables del transporte de sedimentos. La franja costera adopta distintas morfologías a lo largo del tiempo (escalas de segundos a décadas) en respuesta a las variaciones de esos forzamientos. La mayor parte de la población mundial reside en esta franja, y es muy relevante estudiar su estabilidad debido a que está siendo continuamente modificada a través de construcciones marítimas y terrestres que perturban su dinámica natural. Existe una necesidad inminente de entender el equilibrio dinámico de las costas y determinar su capacidad de resiliencia ante modificaciones naturales y antropogénicas. Para ello, se requiere de programas de monitoreo continuo que permitan entender los cambios morfológicos, y por tanto, su capacidad de resiliencia a diferentes escalas. En México, los grupos de investigación en morfodinámica costera de la UABC y la UNAM han realizado el esfuerzo de medir de

forma continua los cambios morfológicos de las costas del noroeste de Baja California y de la península de Yucatán. Los datos colectados comprenden mediciones morfológicas (topografías y batimetrías), hidrodinámicas (oleaje y corrientes), meteorológicas y sedimentarias concurrentes, obtenidas de forma directa en campo o a través del uso de sensores remotos. El objetivo de estos grupos de investigación es generar información para comprender los cambios morfodinámicos y validar modelos numéricos que sirvan como herramientas para evaluar los impactos de perturbaciones futuras en la franja costera. Los resultados de los programas de monitoreo son indispensables para la toma de decisiones encaminada a la construcción de costas resilientes.

Palabras clave: costas; playas; resiliencia; mediciones; erosión; recuperación; cambio climático; equilibrio dinámico.

Introducción

Las playas arenosas comprenden alrededor del 40 % de las costas del mundo (Bird, 1996), y éstas son depósitos sedimentarios que abarcan desde las dunas o pie de acantilados hasta una profundidad a partir de la cual no existe un transporte significativo de sedimentos (denominada profundidad de cierre) y ubicada normalmente a 8–10 m de profundidad (figura 1). Las playas presentan variaciones morfológicas constantes en respuesta al movimiento de arena asociado a diferentes forzamientos (oleaje, mareas, viento) que cambian con el tiempo (Ranasinghe, 2016). Por tanto, su estudio es complejo, ya que depende de la interacción entre la hidrodinámica y la morfología, es decir, el viento, el oleaje y la marea generan corrientes transportan sedimento y por lo tanto modifican la morfología del fondo marino. Sin embargo, cuando la morfología del lecho marino cambia, el oleaje y las corrientes se modifican. Por lo tanto, a finales de los años 1970 surgió el concepto de morfodinámica, que se refiere a la interacción mutua entre los forzamientos hidrodinámicos (viento, oleaje, corrientes,

marea) y la morfología de la playa, que dan lugar al transporte de sedimentos (Wright y Thom, 1977). Este concepto trata de explicar que la forma de las costas arenosas cambia debido a que la dirección y magnitud del transporte del sedimento varía con el tiempo. Los procesos eólicos también juegan un papel importante en el transporte de sedimentos, por tanto, es relevante también considerar el efecto de vientos locales (*i.e.* brisas intensas) y de meso-escala (*e.g.* “Santa Ana, Nortes, Tehuanos”) en la generación de corrientes y, consecuentemente, en la modificación de la morfología de las playas.

Los cambios morfológicos que uno observa a lo largo y a través de las costas varían en función de la escala de tiempo (figura 2). Por ello, para entender la estabilidad morfológica de las costas es importante elegir una escala temporal adecuada. Si uno se fija en el cambio morfológico de las playas durante el lapso de segundos a unas pocas horas (a corto plazo), se dará cuenta de que el cambio morfológico es pequeño (escala vertical de centímetros). La rotura del olea-

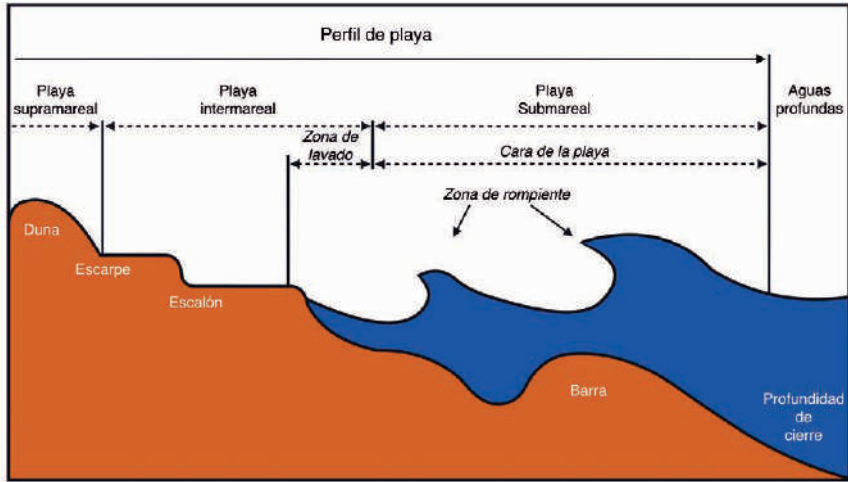


Figura 1. Terminología de un perfil de playa, que abarca desde la duna o acantilado (sección supramareal) hasta la profundidad de cierre (sección submareal). Adaptado del Shore Protection Manual (1984).

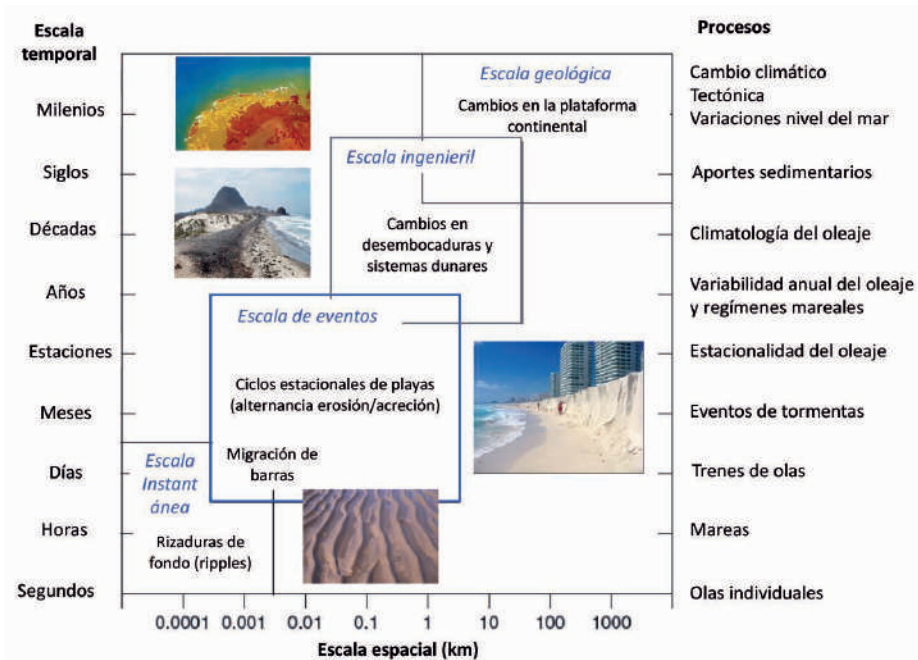


Figura 2. Escalas temporales y espaciales que afectan la evolución morfológica de las costas. Adaptado de Cowell y Thom (1994)

je es responsable de poner gran cantidad de arena en suspensión, la que es transportada por las corrientes a través y a lo largo de la pendiente de la cara de la playa. Sin embargo, la erosión o acreción vertical de arena está asociada al gradiente en el transporte, por lo que puede no ser perceptible en escalas de tiempo cortas. La mayor variabilidad morfológica ocurre a escala de eventos de tormentas (horas a días) y a escala estacional (meses). En dichos periodos de tiempo, los cambios morfológicos verticales pueden ser de uno a varios metros, debido al desacoplamiento de la hidrodinámica con el perfil de playa, que debe ajustarse a una nueva condición de equilibrio. Las tormentas normalmente generan una erosión muy notable en la playa semi-seca (sección intermareal y supramareal), y la arena erosionada es transportada mar adentro a través de las intensas corrientes transversales, y a veces, la arena es también distribuida a lo largo de la costa a través de la corriente litoral. La pérdida de arena durante las tormentas se puede ver reflejada en la presencia de un escarpe (temporal o permanente) en la sección intermareal o más arriba, en la supramareal. Dicha pérdida volumétrica de arena suele implicar un retroceso en la línea de costa hacia tierra, por tanto, una disminución del ancho de playa. Es de destacar que estos cambios morfológicos pueden acelerarse debido a la alteración de la dinámica natural asociada a la construcción de infraestructura costera (*e.g.* puertos, marinas, espigones) o la remoción de la duna.

La respuesta morfológica estacional de las playas cambia en función de las características sedimentarias, de pendiente de playa, oleaje (periodo, altura de ola y dirección) y régimen de vientos (intensidad y dirección). En general, durante periodos de alta energía de oleaje las playas se erosionan, y

su recuperación ocurre cuando la energía del oleaje disminuye. Las playas del noroeste de Baja California suelen recuperar la arena perdida durante el invierno, cuando la energía del oleaje incidente disminuye, que ocurre a finales de primavera y durante el verano (Ruiz de Alegría-Arzaburu *et al.*, 2017). En estas playas la arena erosionada durante las tormentas se aleja de la orilla formando una barra submareal, y su recuperación ocurre cuando la energía del oleaje baja y favorece el transporte de arena hacia tierra. Como resultado de la recuperación, se suelen formar bermas, que son montículos de arena ubicados en la sección intermareal superior, además, aumenta el ancho de playa (avance de la línea de costa hacia el mar). En las costas de la península de Yucatán, los patrones de erosión y recuperación son diferentes a los observados en Baja California, ya que ocurren en diferentes estaciones del año. Durante temporada de tormentas (otoño-invierno) se acumula sedimento en la berma y la barra submareal migra hacia la costa, mientras que durante la temporada de brisas (primavera-verano) la barra migra hacia fuera de la costa. Esto demuestra que es sumamente importante realizar estos estudios en diferentes playas mexicanas para entender su respuesta morfológica ante diferentes condiciones de oleaje, mareas, viento y corrientes. De esta forma, se podría llegar a clasificar las costas mexicanas en función de su respuesta morfodinámica bajo diferentes escenarios hidrodinámicos.

Dado que la morfología de la playa está en continuo movimiento en respuesta al oleaje incidente, se dice que una playa se encuentra en un estado de equilibrio dinámico cuando es capaz de recuperar el volumen de arena (y forma de perfil) perdido durante periodos de alta energía (*i.e.* even-

tos de tormentas). Así, se dice que las costas son resilientes cuando son capaces de mantener un equilibrio dinámico a largo plazo (escala de años a décadas), por tanto, son costas que a pesar de sostener variaciones morfológicas de alta magnitud (*i.e.* mucha erosión en invierno) recuperan la arena perdida durante el periodo de baja energía de oleaje, consecuentemente, el cambio anual neto es cercano a cero.

Los oceanógrafos físicos e ingenieros de costas han enfocado sus esfuerzos en generar costas estables. Sin embargo, algunas de las soluciones no son funcionales a largo plazo por lo que existe la necesidad de identificar procedimientos que permitan construir sistemas resilientes, asegurando que mantengan su funcionalidad. Para entender si las costas son resilientes y que, por lo tanto, se encuentre en un equilibrio dinámico a largo plazo es necesario realizar planes de monitoreo continuos. Es decir, es necesario, al menos, tomar mediciones mensuales en un período largo que permitan evaluar el nivel de estabilidad de las playas a escalas de tormentas, estaciones, años, y décadas. Considerando que es imposible medir todas las playas mexicanas, una estrategia consiste en implementar pla-

nes de monitoreo continuo en diferentes ambientes para la calibración de modelos numéricos que puedan ser utilizados en otras regiones del país con características similares. Para implementar medidas de mitigación en zonas críticas es necesario un buen entendimiento de los procesos antes de proponer el uso de una medida blanda (*i.e.* regeneración de playa) o rígida (*i.e.* instalación de una estructura). Una toma de decisión acertada requiere saber, por ejemplo, el volumen de arena mínimo para que la playa alcance su estabilidad, el tipo de tamaño de grano de arena, y la forma del perfil de playa de equilibrio (intermareal y submareal), entre otros parámetros. Una toma de decisiones no informada resulta en la afectación de zonas aledañas y acciones de mitigación no exitosas. En este Capítulo se definirán las pautas a seguir para construir costas resilientes, se explicará a detalle la problemática y los indicadores necesarios para llevar a cabo un monitoreo adecuado. Por último, se mostrarán dos casos de estudio relacionados con programas de monitoreo que se están desarrollando en las penínsulas de Yucatán y Baja California, y finalizaremos con unas recomendaciones para los tomadores de decisiones.

Antecedentes

México posee más de 11 000 km de costa sin incluir las islas, y a lo largo de su litoral existe una alta variedad de playas expuestas al oleaje del océano Pacífico y Atlántico (www.semarnat.gob.mx). Las playas arenosas presentan diferentes rasgos morfológicos que se pueden utilizar como indicadores o *proxies* para inferir su estado de erosión o acreción a lo largo del tiempo. Si

uno visita regularmente una playa natural se da cuenta de que ésta cambia su forma con el paso de las estaciones del año (figura 3). Por ejemplo, en playas con cambios estacionales muy marcados se suele observar la presencia de escarpes en la parte intermareal durante condiciones de alta energía de oleaje, por tanto, el escarpe puede ser un indicador de condición erosiva. El se-

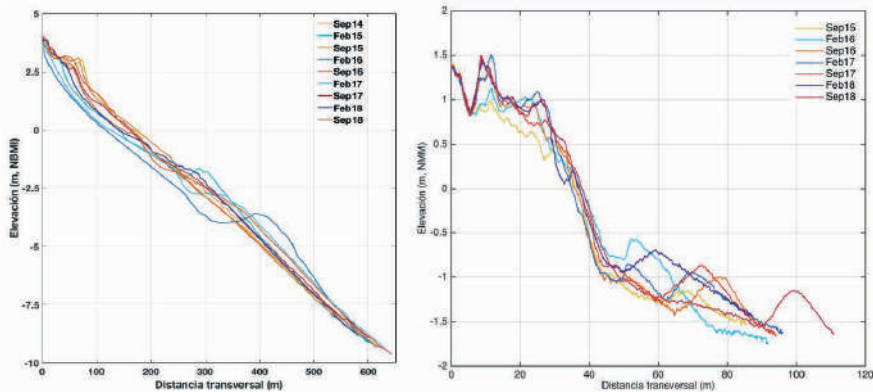


Figura 3. Variabilidad estacional de un perfil de playa: (panel izquierdo) en Playa Hermosa (Ensenada, B.C.; TB01). Los colores cálidos muestran los perfiles de verano (septiembre; presencia de berma) y los fríos los de invierno (febrero; presencia de barra submareal). Nótese que el cambio percibido en febrero 2016 es el asociado con la anomalía climática de El Niño 2015-2016. (panel derecho) en la playa de Sisal (P07), al final del verano la barra submareal se ubica más lejos de la costa (colores cálidos), mientras que durante el invierno la barra migra hacia la costa (colores fríos).

dimento erosionado se transporta hacia el mar, y se deposita en forma de barra en la parte submareal cercana. Por el contrario, al visitar la misma playa durante condiciones de baja energía de oleaje se dará cuenta de que la condición es de acreción, es decir, la playa intermareal contiene mucha arena, y a menudo se forma un montículo de arena conocido como berma. Durante este periodo de acreción, la barra de arena submareal suele migrar hacia tierra, y a veces incluso desaparece por completo debido a su completo acoplamiento con la línea de costa. Por tanto, a través de la identificación de rasgos morfológicos como la duna, el escarpe, la barra submareal, y la berma se puede inferir la condición erosiva o de acreción de la playa en el tiempo.

Las líneas de costa pueden ser utilizadas para definir la estabilidad de las playas si son medidas de forma continua durante un largo periodo de tiempo (Boak y Turner, 2005). La realidad es que una línea de costa por sí sola no provee toda la información necesaria para entender el equilibrio diná-

mico de playa, dado que la playa se caracteriza por su superficie tridimensional que varía continuamente en el tiempo. Muchas veces hace falta realizar correlaciones entre los volúmenes de playa y las posiciones de las líneas de costa para poder interpretar el significado físico del avance o retroceso de la línea. Por ello, es preferible tomar mediciones tridimensionales, es decir, medir perfiles topográficos y batimétricos de forma periódica (*i.e.* mensualmente, trimestralmente) y continua (durante varios años a décadas). Estas mediciones permiten obtener información cuantitativa de los cambios morfológicos de la playa, es decir, calcular su geometría (anchura, altura, pendiente), el volumen de arena que contiene y sus rasgos morfológicos (*i.e.* barra, berma, escarpe, duna).

A pesar de que la mejor forma de cuantificar los cambios morfológicos es a través de mediciones topográficas y batimétricas, la adquisición de estos datos es normalmente costoso y, por ello, difícil de realizar de forma periódica. Actualmente existen

técnicas de percepción remota para obtener información morfodinámica de las playas, con los cuales se pueden ubicar rasgos morfológicos e inferir su estado de acreción o erosión. Los sistemas fijos de video-cámaras han resultado ser muy eficaces en la colección de imágenes continuas durante las horas de luz, y a través de una rigurosa validación con mediciones de campo pueden ofrecer información muy útil para los tomadores de decisiones (Holman y Stanley, 2007).

En muchas costas alrededor del mundo se realizan programas de monitoreo de playas que combinan tanto mediciones directas de campo como sistemas de monitoreo remotos. Por un lado, instalan sistemas de video-monitoreo continuo y por otro lado toman mediciones morfológicas estacionales que permiten validar la información de las cámaras y cuantificar el volumen de arena. Además, para interpretar el cambio morfológico es necesario realizar mediciones de oleaje y mareas a través de instrumentos *in situ*. Las mediciones de oleaje y marea pueden complementarse con datos sintéticos de re-análisis de modelos numéricos o mediciones de altimetría disponibles en portales de internet (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>).

Los programas de monitoreo continuo multi-decadales son escasos alrededor del mundo (Turner *et al.*, 2016). Algunos ejemplos de este tipo de programas se han desarrollado en la playa de Narrabeen en Australia, con mediciones de 1976-fecha

(Turner *et al.*, 2016), Duck en Carolina del Norte, Estados Unidos (Lippman y Holman, 1990; Larson y Kraus, 1994), Holanda (Wijnberg *et al.*, 1995) y Hasaki, Japón de 1987 a la fecha (Kuriyama *et al.*, 2008). A pesar de la importancia de este tipo de información para implementar políticas de manejo, en México no existe ninguna institución dedicada al monitoreo de las playas de manera sistemática, y los esfuerzos de monitoreo se han limitado a sitios específicos en torno a proyectos (de investigación o servicios) de corta duración.

Algunos de los programas de monitoreo más largos en México (reportados en la bibliografía) son la playa de Rosarito en Baja California (Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003, 2007), Cancún y Puerto Morelos en Quintana Roo (Silva-Casarín *et al.*, 2006; Mariño Tapia *et al.*, 2008; González-Leija *et al.*, 2013; Ruiz de Alegría-Arzaburu *et al.*, 2012, 2013) y Progreso en Yucatán (Medellín *et al.*, 2015). Con la idea de poder apoyar en las decisiones políticas de manejo costero, más recientemente se han implementado programas de monitoreo de alta resolución espacial y temporal en Baja California (2012- a la fecha) por parte de la Universidad Autónoma de Baja California (Ruiz de Alegría-Arzaburu *et al.*, 2017) y en Yucatán (2015- a la fecha) a través de la Universidad Nacional Autónoma de México. Estos programas tienen como objetivo entender la variabilidad de la playa a escalas de días, meses y años.

Pautas para construir costas resilientes

Para estudiar la estabilidad de las costas es necesario un monitoreo de indicadores que permitan cuantificar su resistencia (capacidad de soportar un disturbio) y resiliencia (capacidad de recuperarse después de una perturbación) con respecto a la funcionalidad del sistema. Una de las funciones principales de las playas es la de brindar protección a la costa durante eventos extremos, sin embargo, la capacidad de la costa para resistir y recuperarse del impacto de los distintos estresores depende de su morfología. Por lo tanto, todo programa de monitoreo debe considerar la medición georreferenciada de sus características principales. Entre los indicadores principales se encuentran el ancho de la playa y la presencia/ausencia de barras de arena y dunas, las cuales representan una fuente de almacenamiento de arena que incrementa su capacidad de disipar la energía del oleaje durante tormentas (Parlagreco *et al.*, 2019) y de recuperación posterior a ellas. Idealmente es importante cuantificar el volumen de arena de la playa emergida, el volumen de arena en las barras de arena y dunas, y la presencia de vegetación dunar dado el papel que juegan en la estabilización de la duna (Silva-Casarín *et al.*, 2016).

Para la medición de estos indicadores se pueden utilizar mediciones topográficas y batimétricas con sistemas de geoposicionamiento diferencial y ecosondas, el uso de imágenes de satélite, imágenes de sistemas de video monitoreo (Lippmann y Holman, 1990), fotogrametría a partir de vuelos de vehículos aéreos no tripulados georreferenciados (Harley *et al.*, 2015), o idealmente la combinación de dos o más de ellas. Las mediciones de los indicadores principales de la respuesta de la playa deben correlacionarse

con los forzamientos naturales que caracterizan el clima marítimo. La correlación de los indicadores morfológicos con las series temporales de los forzamientos principales como la altura, dirección y periodo del oleaje, el nivel del mar, y el transporte de sedimentos debido al oleaje, permite identificar la importancia relativa de cada uno de los forzamientos en los cambios observados en la morfología de la playa.

Para determinar las trayectorias de los indicadores claves, las series temporales de las mediciones pueden ser analizadas de manera estadística para, por ejemplo, aislar la variabilidad interanual y estacional. Una de las técnicas más populares es a través de funciones empíricas ortogonales (Aubrey *et al.*, 1980; Harley *et al.*, 2011). Dicho método nos permite obtener los principales modos de variabilidad espacial de los indicadores de la morfología de la playa y su evolución temporal. La evolución temporal del modo principal de variación nos indica la trayectoria de dichos indicadores en función de las escalas de forzamiento. La trayectoria de los indicadores nos puede dar información sobre su resiliencia, la cual puede ser: cíclica, equilibrio dinámico, o meta equilibrio dinámico en función de las perturbaciones a las que está sujeta (Piégay *et al.*, 2018). Estudios recientes han demostrado que la evolución temporal del principal modo de variabilidad de la línea de costa es capaz de predecir el tiempo de recuperación de la misma ante una perturbación (Medellín *et al.*, 2018) o su trayectoria hacia un equilibrio dinámico. Por otro lado, para identificar valores umbrales es necesario integrar los indicadores claves en índices de resiliencia que permitan determinar si la resiliencia se mantiene,

disminuye o se incrementa a lo largo del tiempo. Medellín *et al.* (2018) proponen índices de resiliencia y resistencia, basados en los estudios de ecología desarrollados por Orwin y Wardle (2004), para el estudio de perturbaciones inducidas por estructuras temporales en la posición de la línea de costa. Para poder definir estrategias que permitan mejorar la resiliencia es necesario contar con mediciones de los indicadores

claves, desarrollar índices de resiliencia que incorporen los indicadores claves (línea de costa, dunas y barras de arena), y utilizar modelos numéricos que permitan modelar diferentes escenarios para estudiar la sensibilidad a los diferentes forzamientos. Este tipo de estudios permite priorizar las acciones para incrementar la resiliencia de la costa en un sitio específico.

Problemática y sectores afectados

En México existen numerosos problemas derivados de un manejo no sustentable de la costa. El desarrollo de infraestructura costera, como puertos y vías de comunicación, frecuentemente produce efectos negativos en la costa ya que evita que la playa alcance un nuevo equilibrio dinámico cuando se establece dentro de la zona de su dinámica natural. Asimismo, puede afectar el patrón de transporte de sedimentos o reducir su capacidad de disipación del oleaje durante eventos extremos debidos a la remoción de la vegetación y la duna. Este tipo de problemas se agrava con la implementación de medidas de mitigación locales que no consideran la dinámica de la celda litoral. Lo anterior hace evidente la falta de lineamientos claros que obliguen a realizar estudios de la dinámica en el corto y largo plazo previos a la construcción de infraestructura en la costa. Aunado a ello, existen regiones donde, ante la falta de respuesta por parte de las autoridades, se construyen obras costeras ilegales que trasladan el problema a zonas que no estaban afectadas. La degradación de la costa implica una menor capacidad para adaptarse a

cualquier perturbación natural o antropogénica (Bird, 1996).

Uno de los sectores más afectados es el turístico, ya que la playa es el principal atractivo de la costa. El deterioro de la costa tiene un alto impacto económico en zonas turísticas. Uno de los fenómenos naturales que ha causado mayor afectación en la costa de México en años recientes, ha sido el huracán Wilma en 2005, el más intenso registrado en el Atlántico (WMO, 2006). Las pérdidas económicas se calculan en 18 773 millones de pesos para Yucatán y Quintana Roo, principalmente concentradas en el sector turístico de Quintana Roo (17 188 millones de pesos) según datos del Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED (<https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones>). Este huracán ocasionó en Cancún pérdidas de aproximadamente 7 millones de m³ de arena en la playa debido a la urbanización de la costa que incrementó la rigidez de la isla de barrera (Silva-Casarín *et al.*, 2012). En el largo plazo la erosión de playas representa una pérdida del territorio nacional cuyo impacto económico es invaluable.

Indicadores para monitorear la resiliencia costera

Las costas arenosas dejan de ser resilientes es debido a que pierden su equilibrio dinámico, consecuentemente, entran en una fase de erosión crónica. Existen varios indicadores morfológicos que pueden informar cuándo las playas inician una fase de erosión continua. El indicador más utilizado y sencillo de interpretar es la posición de la línea de costa. Cuando se define un punto de referencia fijo en la parte alta de la playa, la distancia entre este punto fijo y la línea de costa elegida (*i.e.* coordenada cuando la elevación es 0 m referido al nivel de bajamar media inferior) da lugar a un valor de ancho de playa. Normalmente cuando la playa se hace cada vez más estrecha es debido a que se está perdiendo volumen y, por tanto, se está erosionando. Consecuentemente, una serie de tiempo de ancho de playa puede ayudar a entender si la playa está entrando en una fase de pérdida de anchura y, por tanto, de erosión continua y pérdida de equilibrio dinámico. En esa situación los tomadores de decisiones deberían de definir una solución para estabilizar la playa.

Otro indicador para monitorear la estabilidad de las playas es el volumen de arena que contiene la misma. Integrando los perfiles transversales colectados durante mediciones topográficas se obtienen áreas, y multiplicando estas áreas por distancias representativas de cada perfil se obtienen volúmenes. El monitoreo continuo de las playas permite definir el volumen de equilibrio de éstas, es decir, la cantidad de arena que debe de contener para asegurar que está estable. La ventaja de medir volúmenes es que en el caso de que la playa entre en un proceso de erosión crónica, se puede saber exactamente la cantidad de sedimento

que hace falta añadir, e incluso la ubicación exacta. Este conocimiento es esencial a la hora de realizar regeneraciones artificiales de playas en costas no resilientes. Pero para conocer el valor de volumen de equilibrio es necesario monitorear las playas por al menos unos pocos años, y así poder calcular los volúmenes durante las diferentes estaciones del año, y la variabilidad del tamaño de grano.

Como se ha mencionado, existen diferentes métodos para obtener la información de estos indicadores. La forma más efectiva de conocer el volumen de arena y posición de la línea de costa es mediante mediciones topográficas con un sistema de geoposicionamiento (GPS) diferencial. A pesar de ser un trabajo bastante intenso, con realizarlo cada tres o cuatro meses se podría obtener información bastante útil como para poder definir los valores volumétricos de anchura de playa en su estado de equilibrio. Un método alternativo de extraer líneas de costa de forma continua es utilizando sistemas de video-monitoreo fijos (figura 4), y a través de esas imágenes adquirir valores de anchura de playa. La única desventaja de estos sistemas es que se requiere de personal altamente cualificado para realizar el procesamiento de las imágenes para extraer la información necesaria. Por eso muchas veces es más eficiente la realización de topografías y el procesamiento de las topografías, que requiere de conocimiento más básico que el análisis de imágenes. En México existen pocos sitios que cuenten con este tipo de sistemas de video-monitoreo, uno de los cuales se encuentra en la playa de Sisal (Yucatán), cuyas imágenes se pueden consultar en (<http://tepeu.sisal.unam.mx/video-sisal/images.jsp>; <http://ocse.mx/>).

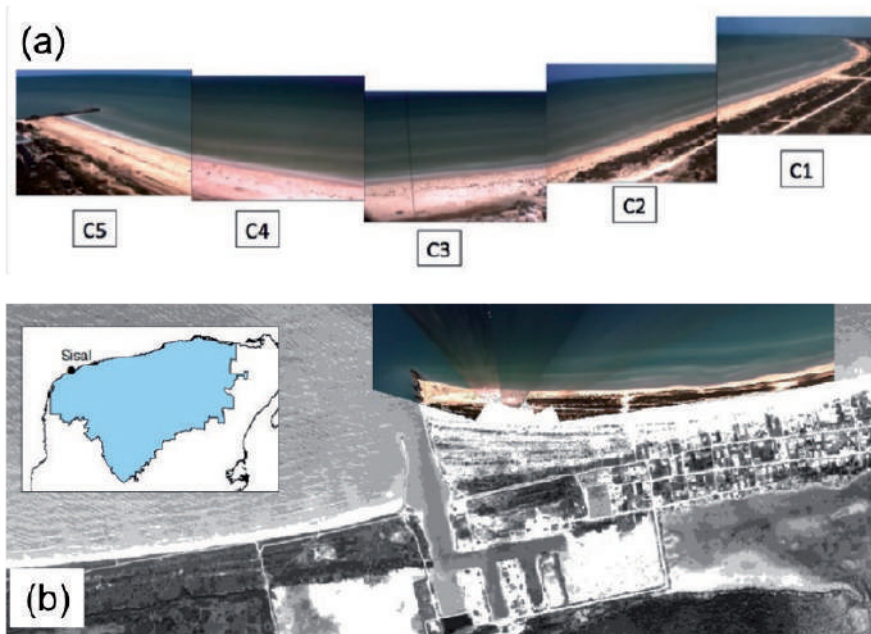


Figura 4. (a) Imágenes oblicuas tomadas por las cinco cámaras que componen el sistema de video-monitoreo en Sisal, Yucatán, e (b) imagen rectificadas de la sección de la playa de Sisal (en color) obtenida a partir de las cinco imágenes oblicuas (tomada y modificada de Mendoza *et al.* (2017).

La información relevante que se quiere obtener es saber si una vez que la playa pierde el equilibrio, es capaz de volver a él. Muchas veces, por presión socioeconómica, no se permite que las playas recuperen su equilibrio de forma natural posterior a eventos de gran erosión generados por tormentas o huracanes. Un ejemplo interesante es el caso del paso del huracán Wilma (octubre de 2005) por la playa de Cancún (Mariño Tapia *et al.*, 2008). El huracán erosionó gravemente la playa y la arena erosionada fue depositada en forma de barra a unos pocos metros de profundidad. Unas semanas después se observó el inicio de una recuperación natural de la playa, sin embargo, las autoridades locales optaron por regenerar la playa de forma artificial, impidiendo su recuperación natural. Para que la playa recupere el 100 % de la arena perdi-

da durante un evento de alta energía como son las tormentas o los huracanes hace falta tiempo. Por ejemplo, la playa municipal de Ensenada (Baja California) tardó tres veranos en recuperarse completamente después de la incidencia de varias tormentas intensas durante El Niño 2015-2016 (Ruiz de Alegría-Arzaburu y Vidal-Ruiz, 2018).

A través del monitoreo continuo del ancho de playa y volúmenes de arena cada tres meses durante cinco años, por ejemplo, se puede adquirir el conocimiento básico necesario para poder tomar decisiones de gestión más acertadas en esa playa y sus alrededores. Debido a la gran variabilidad de ambientes costeros de México, sería necesario elegir playas estratégicas para ser monitoreadas, incluyendo localidades del norte y sur de las costas del Pacífico, golfo de California, Caribe y golfo de México. Se

podría proponer la instalación de sistemas de video-monitoreo costero con un medidor de oleaje y corrientes para conocer las condiciones forzantes de los cambios de

erosión y recuperación de las playas, además de proponer la realización de topografías cada tres o cuatro meses.

Lecciones aprendidas: casos de estudio de Baja California y Yucatán

Desde hace varias décadas los grupos de investigación mexicanos en oceanografía e ingeniería de costas han estado realizando un gran esfuerzo por coleccionar mediciones continuas de cambios morfológicos en playas de diferentes puntos del país. El Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) en Ensenada fue probablemente un grupo pionero que emprendió el monitoreo topográfico estacional de playas del noroeste de Baja California en 1971 (Lizárraga-Arciniega, 1976), aunque fue hasta 1997 cuando se inició el monitoreo continuo de la playa de Rosarito, que duró hasta 2005 (Lizárraga-Arciniega *et al.*, 2003, 2007). Actualmente, grupos de morfodinámica costera del II-UNAM (Unidad Académica Sisal) y del IO-UABC realizan mediciones mensuales de alta resolución espacial tanto en la sección semi-seca (topografías) como en la submareal (batimetrías). La finalidad de ambos grupos es calcular balances sedimentarios para entender la resiliencia de las costas del norte de Yucatán y Baja California ante el impacto de eventos extremos (*i.e.* tormentas, huracanes). Estos ambientes costeros están sujetos a una dinámica costera completamente diferente.

Monitoreo de las playas de nw de Baja California

A finales de 2012, el grupo de investigación en morfodinámica costera del IO-UABC (www.mordics.org) emprendió un monitoreo topográfico bimensual de playa Hermosa (Ensenada, B.C.), y a partir de 2014 se iniciaron además mediciones batimétricas mensuales. El objetivo es calcular balances sedimentarios y entender la profundidad en la que se acumula el sedimento después del impacto de oleaje de alta energía (Ruiz de Alegría-Arzaburu *et al.*, 2017). En 2015 se decidió medir mensualmente topografías y batimetrías a lo largo de toda la franja arenosa (alrededor de 15 km) de bahía Todos Santos (Ensenada, B.C.) (figura 5) y de la playa de La Misión (figura 6) ubicada a unos 30 km al norte de Ensenada. Además de las mediciones morfológicas, se mide el oleaje y las corrientes a 20 m de profundidad, con varios perfiladores acústicos de corrientes tipo Doppler (ADCP), se coleccionan datos meteorológicos y se realizan vuelos regulares con drones para ubicar la presencia de corrientes de retorno (figura 6).

Las mediciones recabadas durante estos años son de extrema utilidad para entender si la playa es capaz de recuperarse después del impacto de tormentas. Durante el periodo de mediciones se capturó el impacto

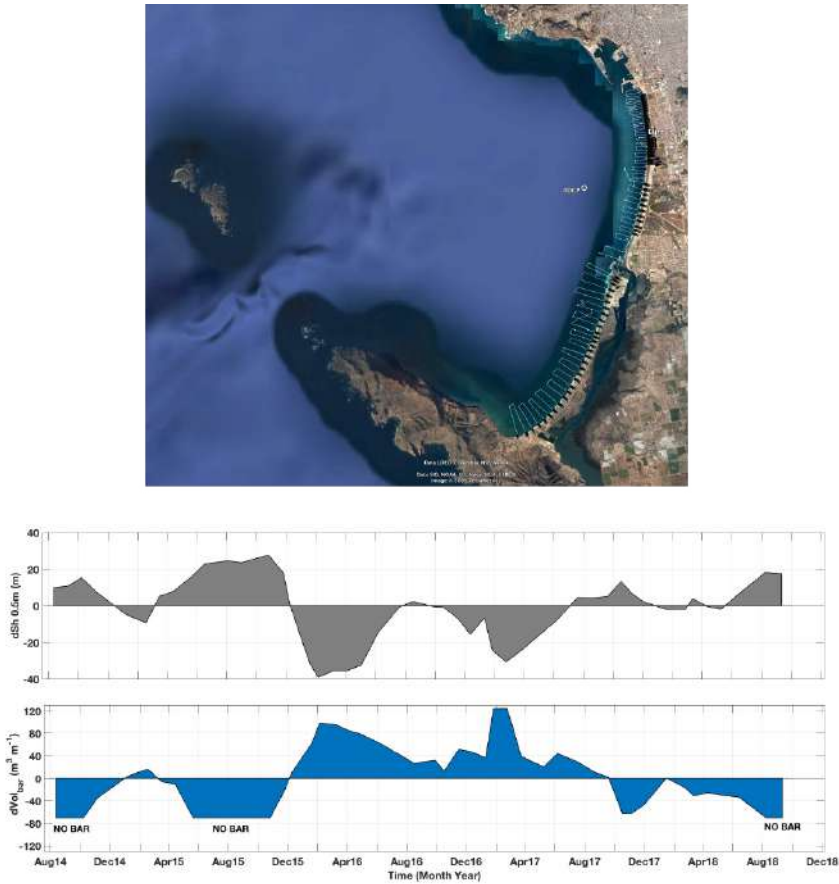


Figura 5. Vista aérea de los perfiles topográficos (líneas negras) y batimétricos (líneas blancas) del plan de monitoreo de las playas arenosas de Bahía Todos Santos (arriba). Variabilidad temporal de la línea de costa promedio para Playa Hermosa, y el volumen de arena contenido en la barra submareal de agosto 2014 a septiembre 2018 (abajo; modificado de Vidal-Ruiz y Ruiz de Alegría-Arzaburu, 2019).

del invierno muy energético asociado a la anomalía climática de El Niño 2015-2016 (Ruiz de Alegría-Arzaburu y Vidal-Ruiz, 2018). Durante ese invierno la playa perdió alrededor de 65 m de ancho de playa, y esa arena erosionada se transportó hacia la playa submareal formando una barra que llegó a acumular alrededor de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ de arena (figura 5). Los resultados muestran que a finales del verano de 2018 la playa fue capaz de recuperar la posición de la línea de costa medida en septiembre del 2014. En

la primavera del 2018, la arena contenida en la barra submareal fue disminuyendo, a medida que la playa intermareal se fue ensanchando (figura 5). La ventaja de medir un perfil de playa cada 50 m a lo largo de la misma es que se puede determinar si existen zonas de mayor erosión o acumulación, e incluso, zonas de total estabilidad.

Las mediciones recabadas en la playa de La Misión muestran que es muy dinámica, y que presenta corrientes de retorno la mayor parte del año (figura 6). Con el fin

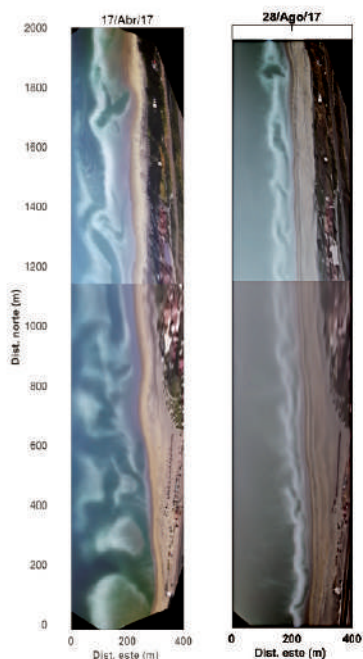
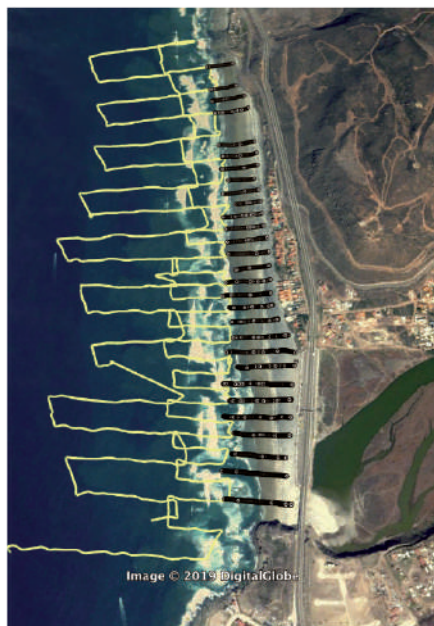


Figura 6. Vista aérea de la playa La Misión con perfiles topográficos (líneas negras) y batimétricos (líneas amarillas) colectados durante una campaña. Las imágenes de la derecha son productos obtenidos con el dron (imágenes promediadas durante 17min) para abril y agosto 2017 (izquierda y derecha).

de entender la variabilidad espaciotemporal de las corrientes de retorno, a principios del 2017 se emprendió un monitoreo semanal-bisemanal de los 2 km de playa a través de videos colectados con un dron. Las imágenes analizadas (georreferenciadas y orto-rectificadas) ofrecen información cuantitativa muy útil para determinar tanto la posición y geometría de las corrientes como la posición instantánea de la línea de costa, posición y forma de las barras submareales y anchura de la zona de rompientes. Con esta información se pueden validar modelos numéricos que sirvan como herramientas para predecir la ubicación de las corrientes de retorno a futuro, información relevante desde el punto de vista de seguridad en playas.

Monitoreo de las playas del nw de Yucatán

La costa norte de la península de Yucatán se caracteriza por la presencia de brisas marinas intensas, que inducen un importante transporte de sedimento a lo largo de la costa en dirección de este a oeste. Por tanto, esta costa es altamente sensible a la presencia de estructuras costeras (*i.e.* escolleras, espigones, muelles), las cuales generan frecuentemente problemas de erosión.

Con el fin de conocer la dinámica estacional e interanual de estas playas, se inició en el año 2015 un programa de monitoreo en la playa de Sisal, Yucatán con frecuencia semanal durante el primer año y quincenal a partir del segundo año (<http://ocse.mx/>). Además, se han realizado monitoreos de si-

tios con erosión crítica en otros puntos de la costa, para evaluar la eficiencia de algunas medidas de mitigación de los tomadores de decisiones, que no siempre han sido exitosas. Finalmente, se han realizado experimentos intensivos para evaluar la resistencia y resiliencia de la playa ante la presencia de estructuras costeras con dimensiones similares a las utilizadas por los dueños de los predios en la primera línea de playa. Los datos colectados durante este periodo nos han permitido entender la dinámica de la playa ante la presencia de estructuras permanentes, como el espigón aldeaño al canal de acceso al puerto de abrigo de Sisal. Las mediciones de más de 100 campañas de campo realizadas durante más de 4 años han permitido la obtención de indicadores

del equilibrio dinámico de la playa, tales como posición de la línea de costa, cambios en el volumen de la playa emergida, posición de la berma, y posición de la barra de arena sumergida, entre otros (Medellín y Torres-Freyermuth, 2019).

Los resultados volumétricos de la playa emergida (desde la duna hasta la línea de bajamar) a lo largo de los casi 2 km de playa de Sisal muestran un incremento sostenido (11 mil $m^3/año$) durante todo el periodo de medición (figura 7b), que es debido al sedimento retenido por el espigón del puerto de abrigo. Además, el avance de la línea de costa es de ~ 300 m en los últimos 30 años en la zona más cercana al espigón (figura 7a). Esta información es de suma utilidad para diseñar sistemas de trasvase o bypass

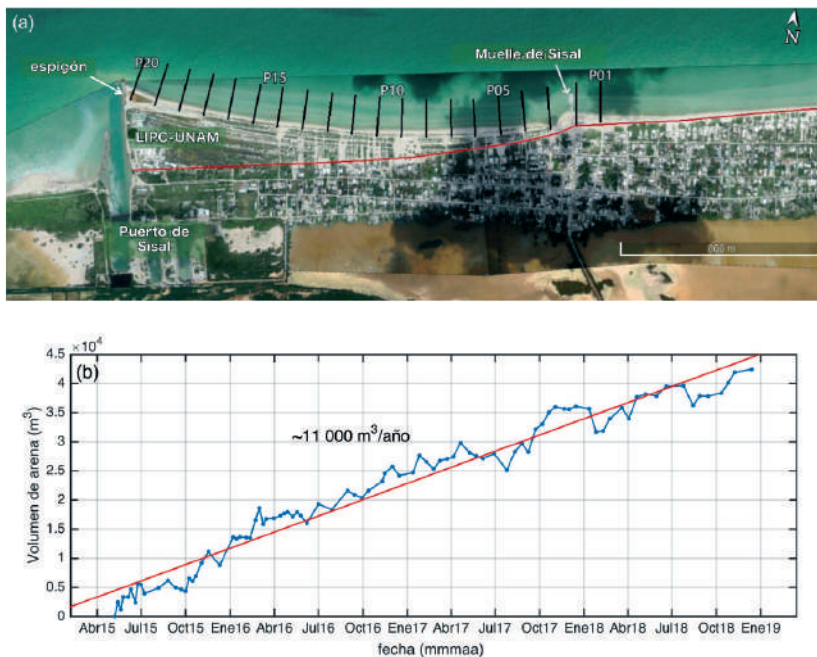


Figura 7. (a) Imagen aérea de la playa de Sisal en 2015 mostrando el espigón del puerto de Sisal, la línea de costa previa a la construcción del puerto en 1984 (línea roja), y los transectos de medición de perfiles de playa (líneas negras, P1-P20), (b) Serie temporal de cambio de volumen de arena de la playa emergida (desde la duna hasta el nivel de bajamar) a partir de mayo 2015. Las mediciones se muestran en azul y en rojo el ajuste lineal.

de arena, necesarios para compensar la erosión de las playas ubicadas corriente abajo de las estructuras.

La erosión originada a partir de la construcción de los puertos de abrigo a principios de los años 1980, se ha ido acrecentando debido a la construcción de infraestructura sobre la duna costera, modificando la morfología de la playa y restringiendo las fluctuaciones naturales de la misma. Esto ha originado, desde hace varios años, la instalación de estructuras costeras por parte de los propietarios de viviendas de la primera línea de playa, la mayoría de las veces agravando el problema de erosión. Con el objetivo de evaluar la resistencia y resiliencia de la playa ante la presencia de estas estructuras, se realizó un

experimento colocando un espigón temporal de dimensiones similares a las utilizadas en la región (figura 8a) (Medellín *et al.*, 2018). De esta forma se evaluó la poca resistencia que ofrece la playa ante la colocación de una estructura de esas características (figura 8b) y, lo altamente resiliente que resultó ser la playa una vez eliminada la estructura. La estructura retuvo más de 70 m³ en 24 horas, alterando la línea de costa, generando acreción corriente arriba y erosión corriente abajo, como se indica en el modo principal de variación (figura 8c), el cual fue máximo justo antes de retirar la estructura (05/29), volviendo progresivamente a su estado inicial seis días después (en 06/03; figura 8d).

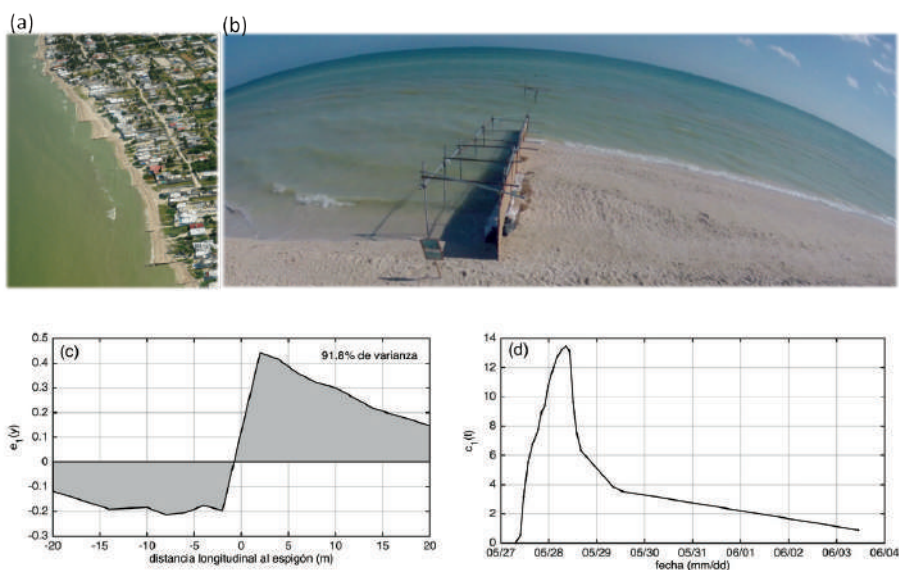


Figura 8. (a) Franja de la costa norte de Yucatán mostrando las estructuras costeras colocadas por propietarios de predios, (b) Imagen de la estructura experimental un día después de su instalación en la playa de Sisal y justo antes de su remoción, (c) modo principal de variabilidad espacial de la línea de costa asociado a la presencia de la estructura en la playa, (d) evolución temporal del modo principal.

Lecciones aprendidas

Algunas de las lecciones aprendidas a partir del monitoreo de estas playas son:

- Es necesario medir de forma continua (de preferencia cada mes). Es la única forma de poder entender los cambios volumétricos y de línea de costa con detalle, y poder así proponer opciones adecuadas de manejo costero.
- Hace falta coleccionar mediciones de alta calidad. Se necesitan datos de alta resolución espaciotemporal para poder realizar el diseño óptimo de regeneraciones de playas o sistemas de bypass (traslado de arena de un lado a otro de estructuras). Solo así se podrá garantizar la esta-

bilidad de las costas, y consecuentemente, su equilibrio dinámico y resiliencia.

- Se necesita monitorear las intervenciones costeras (*i.e.* modificación o instalación de nuevas estructuras, regeneraciones artificiales, bypass, entre otras). Un monitoreo continuo permite evaluar su desempeño como medida de mitigación y sus posibles efectos en playas aledañas.
- Se recomienda validar modelos numéricos que sirvan como herramientas para simular la respuesta de las playas a las medidas de mitigación propuestas (*i.e.* estructura, regeneración artificial) antes de su instalación en campo.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Con el fin de asegurar la estabilidad de las costas mexicanas a largo plazo, se recomiendan las siguientes acciones:

- Desarrollo e implementación de programas de monitoreo sencillos, cuyos indicadores puedan ser obtenidos a partir de mediciones directas o sistemas de percepción remota.
- Adoptar índices de resiliencia que se puedan calcular a partir de los resultados del monitoreo. Es importante que la resiliencia de la playa sea evaluada de acuerdo con su funcionalidad y no a la capacidad de recuperación a su estado anterior a la perturbación.
- Exigir que cualquier proyecto que modifique la dinámica en la costa cuente con estudios de los impactos en la morfología de la playa en el corto y largo plazo, y que contemple un programa de monitoreo que permita evaluar su desempeño durante al menos un año posterior a su ejecución.
- Involucrar a la comunidad costera y usuarios de la zona costera en el monitoreo e interpretación de los resultados de manera que contribuyan a construir costas resilientes a través de la conservación de los ecosistemas.

Literatura citada

- Aubrey, D. G., D.L. Inman, y C.D. Winant, 1980. The statistical prediction of beach changes in southern California, *J. Geophys. Res.*, 85(C6): 3264-3276, doi:10.1029/JC085iC06p03264.
- Bird, E.C.F., 1996. Coastal erosion and rising sea level. p. 87-103. In: Millimann J.D., Haq B.U. (Eds.). *Sea level rise and coastal subsidence*, Kluwer academic, Dordrecht, the Netherlands.
- Boak, E. H., y I.L. Turner, 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21 (4): 688-703.
- Cowell, P.J., y B.G. Thom, 1994. Morphodynamics of coastal evolution. p. 33-86. In: Carter R.W.G., Woodroffe C.D. (Eds.), *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- González-Leija, M.B., I. Mariño-Tapia, R. Silva, C. Enríquez, E. Mendoza, E. Escalante-Mancera, F. Ruiz-Rentería, y E. Uc-Sánchez, 2013. Morphodynamic evolution and sediment transport processes of Cancún Beach. *Journal of Coastal Research* 29(5): 1146-1157.
- Harley, M. D., I.L. Turner, A.D. Short, y R. Ranasinghe, 2011. A reevaluation of coastal embayment rotation: The dominance of cross-shore versus alongshore sediment transport processes, Collaroy-Narrabeen Beach, southeast Australia, *J. Geophys. Res.*, 116: F04033, doi:10.1029/2011JF001989.
- Harley, M.D., I.L. Turner, A.D. Short, M.A. Bracs, M.S. Phillips, J.A. Simmons, y K.D. Splinter, 2015. Four decades of coastal monitoring at Narrabeen-Collaroy Beach: the past, present and future of this unique dataset. *Australasian Coasts and Ports Conference 2015*, pp. 1-6.
- Holman, R.A., y J. Stanley, 2007. The history and technical capabilities of Argus. *Coastal Engineering*, 54: 477-491.
- Kuriyama Y., Y. Ito, S. Yanagishima, 2008. Medium-term variations of bar properties and their linkages with environmental factors at Hasaki, Japan. *Marine Geology* 248: 1-10.
- Larson M., y N.C. Kraus, 1994. Temporal and spatial scales of beach profile change, Duck, North Carolina. *Marine Geology*, 117: 75-94.
- Lippmann T. C., y R.A. Holman, 1990. The spatial and temporal variability of sandbar morphology. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 95:11575-11590.
- Lizárraga-Arciniega, J.R., 1976. Variaciones estacionales de la playa de Bahía de Todos los Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*, 3 (1): 30-50.
- Lizárraga-Arciniega, R., A. Chee-Barragán, E. Gil-Silva, T. Mendoza-Ponce, y A. Martínez-Díaz de León, 2003. Effect of El Niño on the subaerial beach Playas de Rosarito, B.C., Mexico. *Geofísica internacional*, 42: 419-428.
- Lizárraga-Arciniega, R., A. Martínez-Díaz de León, O. Delgado-González, C.R. Torres, y L.A. Galindo-Bect, 2007. Alternancia de los ciclos de erosión/acreción de playas relacionados con el oleaje en Rosarito, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 33(3): 259-269.
- Mariño Tapia, I., R. Silva, C. Enríquez Ortiz, E. Mendoza Baldwin, R. Escalante Mancera, y F. Ruiz Rentería, 2008. Extreme conditions induced by hurricane Wilma in intermediate water depth at Puerto Morelos, Quintana Roo, Mexico. *Coastal Engineering Conference*. DOI: 10.1142/9789814277426_0048.
- Medellín, G., y A. Torres-Freyermuth, 2019. Morphodynamics along a micro-tidal sea breeze dominated beach in the vicinity of coastal structures. *Marine Geology*, 417, 106013.
- Medellín, G., I. Mariño-Tapia, Y J. Euán-Ávila, 2015. The Influence of a seawall on postnourishment evolution in a sea-breeze-dominated microtidal beach. *Journal of Coastal Research*, 31(6): 1149-1458.
- Medellín, G., A. Torres-Freyermuth, G.R. Tomasicchio, A. Francone, P.A. Tereszkievicz, L. Lusito, L. Palemón-Arcos, y J. López, 2018. Field and numerical study of resistance and resilience on a sea breeze dominated beach in Yucatan (Mexico), *Water*, 10(12): 1806.
- Mendoza, E.T., E. Ojeda, A.D. Gracia-Barrera, y P.I. Espadas, 2017. Estación de video monitorización y caracterización inter-annual de la playa de Sisal. *Caracterización Multidisciplinaria de la Zona Costera de Sisal, Yucatán*. LANRESC, Yucatán, México. Editores: Garza-Pérez, J.R. & Ize-Lema, I.A.R.
- Orwin, K.H., y D.A. Wardle, 2004. New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biol. Biochem.*, 36: 1907-1912.

- Parlagreco, L., L. Melito, S. Devoti, E. Perugini, L. Soldini, G. Zitti, y M. Brocchini, 2019. Monitoring for Coastal Resilience: Preliminary Data from Five Italian Sandy Beaches. *Sensors*, 19: 1854.
- Piégay, H., A. Chabot, y Y.E. Le Lay, 2018. Some comments about resilience: From cyclicity to trajectory, a shift in living and nonliving system theory. *Geomorphology*, in press. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.09.018>.
- Ranasinghe, R., 2016. Assessing climate change impacts on open sandy coasts: A review. *Earth-Science Reviews*, 160: 320-332.
- Ruiz de Alegría-Arzaburu, A., I. Mariño-Tapia, R. Silva, y A. Pedrozo-Acuña, 2012. Post-nourishment beach scarp morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, SI, 65: 576-581. DOI: 10.2112/SI65-098.1.
- Ruiz de Alegría-Arzaburu, A., I. Mariño-Tapia, C. Enríquez, R. Silva, y M. González-Leija, 2013. The role of fringing coral reefs on beach morphodynamics. *Geomorphology* 198, 69-83.
- Ruiz de Alegría-Arzaburu, A., J.A. Vidal-Ruiz, H. García-Nava, y A. Romero-Arteaga, 2017. Seasonal morphodynamics of the subaerial and subtidal sections of an intermediate and mesotidal beach. *Geomorphology*, 295: 383-392.
- Ruiz de Alegría-Arzaburu, A., y J.A. Vidal-Ruiz, 2018. Beach recovery capabilities after El Niño 2015-2016 at Ensenada Beach, Northern Baja California. *Ocean Dynamics*, 68: 749-759.
- Shore Protection Manual, 1984. Department of The Army, US Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Silva-Casarin, R., I. Mariño-Tapia, C. Enríquez-Ortíz, E. Mendoza-Baldwin, E. Escalante-Mancera, y F. Ruiz-Rentería, F2006. Monitoring shoreline changes at Cancun Beach, Mexico: effects of hurricane Wilma. *Coastal Engineering Conference*, doi. org/10.1142/9789812709554_0294.
- Silva-Casarin, R., G.R. Martinez, I. Mariño-Tapia, G. Posada Vanegas, E. Mendoza Baldwin, y E.E. Mancera, 2012. Manmade Vulnerability of the Cancun Beach System: The Case of Hurricane Wilma. *Clean Soil Air Water*, 40: 911-919. doi:10.1002/clen.201100677
- Silva, R., M.L. Martínez, I. Odériz, E. Mendoza, y R.A. Feagin, 2016. Response of vegetated dune-beach systems to storm conditions. *Coastal Engineering* 109: 53-62.
- Turner I.L., M.D. Harley, A.D. Short, J.A. Simmons, M.A. Bracs, M.S. Phillips, y K.D. Splinter, 2016. A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia. *Scientific Data* 3, 160024.
- Turner I.L., Harley M.D., Drummond C.D., 2016b. UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, 114: 19-24.
- Vidal-Ruiz, J.A., y A. Ruiz de Alegría-Arzaburu, 2019. Shoreline variability related to sandbar morphometrics on a single-barred beach in NW Baja California. Coastal Sediments Conference, Saint Peterburg, Florida.
- Wijnberg K. M., y H.J. Terwindt J., 1995. Extracting decadal morphological behaviour from high-resolution, long-term bathymetric surveys along the Holland coast using eigenfunction analysis. *Marine Geology*, 126: 301-330.
- WMO, 2006, WMO statement on the status of the global climate in 2005. Report WMONo 998, World Meteorological Organisation, Geneva, Switzerland.
- Wright, L.D., y B.G. Thom, 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1: 412-459.

Anomalías climáticas futuras en una cuenca hidrológica costera del Golfo de México: impacto de escenarios de cambio climático

*R. C. Vargas Castilleja, J. C. Rolón Aguilar,
J. Treviño Trujillo y R. Tobías Jaramillo*

Resumen

El procesamiento y consideración metodológica para generar escenarios de cambio climático es la pauta para prevenir y reconsiderar las prácticas que han sustentado los territorios y la sociedad para sostenerse en un planeta que está en declive debido a la sobreexplotación de los recursos naturales. Las variables climáticas como la precipitación y la temperatura forman parte importante del sistema planetario y cuya variabilidad inciden directamente tanto en los ecosistemas como en la población.

Por ello, se propone generar y analizar escenarios regionales de cambio climático para un caso de estudio, la cuenca del río Soto la Marina en Tamaulipas, ubicada en el noreste de México cuya desembocadura es el golfo de México. El procesamiento consideró la variable de precipitación y temperatura, para dos modelos del Proyecto CMIP5 presentado en el informe más reciente del IPCC (AR5), el GFDL-CM3 y el HADGEM2-ES, para los forzamientos RCP4.5 W/m^2 y RCP8.5 W/m^2 , bajo dos horizontes de planeación futura, considerando un aumento en la temperatura global de 1.5 °C y 2 °C con respecto a la época pre-industrial. Se tomó la base climatológica Worldclim para la serie 1950-2000, por su confiabilidad científica para incorporar escenarios de cambio climático. Se analizó el comportamiento de la precipitación y temperatura mensualmente por tramos, cuyos polígonos son definidos con base en lo indicado en el Diario Oficial de la Federación más reciente. La relevancia de este tipo de estudios radica en la consideración de los posibles escenarios futuros de continuar bajo las mismas prácticas en las zonas costeras, las cuales se verán seriamente afectadas por el cambio climático debido a su cercanía con el mar, orografía, población, intrusión salina, entre otros factores. Las anomalías climáticas producto de los efectos del calentamiento global se reflejan en un aumento o disminución de las precipitaciones y las temperaturas mensuales, lo que motiva al diseño urgente de medidas prioritizadas con base en las necesidades de cada región costera, estas acciones de adaptación a nivel de cuenca, incluso por tramos de ríos, son la base para hacer frente a los impactos del cambio climático en los diferentes sectores.

Palabras claves: adaptación, cuenca costera, escenarios de cambio climático.

Introducción

La generación de los escenarios de cambio climático por región resulta imprescindible en la planeación de los recursos hídricos debido a que repercuten en la disponibilidad o déficit de agua que se tendrá por el impacto del cambio climático en la variable de precipitación, alterada debido a la inestabilidad del ciclo del agua. Estudiar los escenarios futuros en regiones costeras es prioridad debido a la biocomplejidad de sus atributos naturales. La planicie y llanura costera, así como la estructura ecosistémica son elementos claves que coadyuvan a comprender la dinámica de los efectos del cambio climático. Los estudios de los ecosistemas costeros deben incluir la varia-

ble de cambio climático que permitan una planificación estratégica (restauración ambiental) acorde a la realidad (Yáñez y Day, 2010).

La transformación del clima y de las actividades humanas han contribuido al incremento de la incertidumbre de los escenarios futuros a enfrentar. La temperatura global ha aumentado 0.85 °C de 1880 al 2012 y los impactos se han agudizado debido a la sensibilidad de los sistemas naturales y humanos. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2014b), señala con un alto nivel de confianza que, para finales del 2100, la temperatura global del planeta sea

superior a 1.5 °C para el escenario RCP 4.5 W/m², mientras que para el RCP 8.5 W/m² es probable que sea superior a 2 °C. Así mismo, es probable que la temperatura global a finales del presente siglo aumente de 1.1 °C a 2.6 °C considerando un RCP 4.5 W/m² y de 2.6 °C a 4.8 °C contemplando un RCP 8.5 W/m², mientras que para lograr un límite de 2 °C de aumento, se debería trabajar en un escenario estricto de 2.6 W/m². Lo anterior es reafirmado en el último reporte del IPCC sobre los impactos del calentamiento global a 1.5 °C, el cual subraya que, de continuar con la tendencia, las actividades humanas provocarían un incremento de 0.5 °C para el 2030 y 2052 (IPCC, 2018).

Las investigaciones en cambio climático en México se ha enfocado en los mecanismos de adaptación y en las propuestas para el manejo de escenarios de cambio climático en las regiones, y es que aunque el país no cuenta con un modelo climático propio, ha desarrollado investigación bajo diversos métodos para desarrollar alternativas viables para las condiciones geográficas y climáticas contrastantes del país (Gay *et al.*, 2014), se han generado proyecciones de temperatura y precipitación si se alcanzara un aumento de 1.0 °C, 1.5 °C y 2.0 °C sobre la temperatura promedio global en función de diferentes escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Schleussner *et al.*, 2016; Sánchez y López, 2017; Nakicenovic, s.f.). Estas investigaciones han sido pertinentes desde el marco referencial internacional, donde el país se ha comprometido a limitar el aumento de temperatura, fortalecer capacidades e incrementar las fuentes financieras para generar sociedades resilientes, estipulado en Artículo 2 del Acuerdo de París (CMNUCC, 2015).

Los estudios confirman la necesidad de plantear políticas públicas para hacer frente al cambio climático, para ello se requieren evaluar los recursos, la reacción ante la alteración del clima mediante la definición de diversos escenarios, a través de modelos que permitan tomar decisiones más efectivas, para que estas políticas representen un impacto positivo para las regiones más vulnerables, por resaltar las costeras, debido a su sistema complejo tanto natural, físico como económico (Yáñez y Day, 2010). Esto significa estimar un porcentaje de la reducción o aumento que se tendría al aplicarse un escenario, es definir claramente cuáles serán los efectos del cambio climático en lo económico, social y ambiental, como el uso de suelo y vegetación, agua y en los rendimientos de los cultivos, evapotranspiración, entre otros (Cortignani y Dono, 2018; Agovino *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2018).

El CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project 5) ha sido la base para el desarrollo en las investigaciones del Grupo I del IPCC, pues los Multicoupled Atmosphere–Ocean General Circulation Models (AOGCM, por su nombre en inglés) propuestos, son validados previo a ser simulados a forzamientos externos, como las vías de concentración representativas (IPCC, 2014b) y se encuentran libre para su descarga en la web. Cabe destacar que el uso de modelos climáticos depende del tipo de estudio que se esté llevando a cabo. Actualmente, el proyecto CMIP5 ha trabajado con Modelos del Sistema Tierra (ESM, por sus siglas en inglés), los cuales consideran ciclos biogeoquímicos como el del carbono, así como un mayor número de corridas, pues estos representan métodos numéricos y parametrizaciones, bajo las condiciones atmosféricas,

oceánicas, continentales y de glaciares. Con base en lo anterior, es pertinente enfatizar en la influencia que el clima tiene en la vegetación, tipo de suelo y la disponibilidad de agua superficial y subterránea, así como en la evapotranspiración (Martínez, 2015).

Las predicciones del clima estacionales, decadales y el uso directo de los Modelos de Circulación General (MCG) han generado una variabilidad interesante en términos del comportamiento de la temperatura y porcentajes de disminución de la precipitación. Montero y Andrade (2015) estructuran una serie de estudios hechos para generar los rangos de incrementos de temperatura y variabilidad de precipitación en México, mediante distintos métodos de reducción de escala, escenarios de emisiones y MCG a nivel de experimento, concluyendo en un reconocimiento del aumento de las labores investigativas por lograr una mayor certidumbre en las proyecciones futuras del clima para México, donde se incluyan elementos como la calidad química del aire, cultivos, la vegetación, entre otros. Destacan que la zona norte de México ha sido la más estudiada en términos de escenarios climáticos. Estos modelos son la única manera para anticiparse o conocer los cambios futuros del clima (Moter y Andrade, 2015). Desarrollar proyecciones de clima, implica considerar escenarios bajo diversos forzamientos de concentraciones, cuya escala depende de los gases de efecto invernadero presentes en el planeta en algún horizonte de tiempo estimado, por lo tanto, son probabilidades futuras.

Analizar el comportamiento futuro del clima en una cuenca, contribuye al Objetivo de Desarrollo Sustentable (ODS) No. 13, cuya meta al 2030 es la acción por clima, por lo que se requieren evaluar escenarios para tomar acciones de adaptación y miti-

gación efectos adversos del cambio climático, mientras que el ODS No. 3, requiere de advertir el comportamiento del ciclo del agua para lograr la gestión y el saneamiento del recurso y así cumplir con una demanda que va en aumento y que depende de la cantidad, calidad y patrón de comportamiento, el cual cada vez se adelanta y alarga en su estacionalidad con tendencia a una disminución en la lluvia, prolongando sequías y ocasionando estrés hídrico.

La toma de decisiones efectiva depende en gran medida de la gobernanza traducida en la voluntad política, la equidad, las evaluaciones económicas, el diseño de políticas públicas pertinentes, así como las percepciones del riesgo y la incertidumbre a niveles espaciales y temporales puntuales. Aunque estimar el comportamiento de la precipitación futura no es sencillo, se sabe que la tendencia es a disminuir, y si la población y sus actividades van en aumento, por pequeña que sea esa disminución, las repercusiones serán adversas.

Las actividades antropogénicas pueden favorecer positiva y negativamente en la gestión del agua, pues mientras el mantenimiento de la infraestructura y las buenas prácticas favorecen los requerimientos del recurso para las actividades agrícolas, el crecimiento en la demanda alimentaria y los cambios en los patrones de consumo de población exacerban el escenario (FAO, 2013).

Las metodologías para generar escenarios de cambio climático, las cuales han sido impulsadas por las actualizaciones que el IPCC ha desarrollado en sus informes más recientes, como el cuarto y quinto reporte, y recientemente el informe de 1.5 °C, ponen en evidencia la posibilidad de proyectar el futuro que le espera a México (Fernández *et al.*, 2014, 2015), muestran la perspectiva climática que debe ser un tema

de seguridad nacional, puntualizando en los temas de vulnerabilidad y adaptación para lograr un balance en las afectaciones. No obstante, la presencia de los resultados de estas metodologías aún es invisibles en la toma de decisiones, es decir, la brecha es amplia entre la ciencia y el desarrollo de planes, programas y políticas públicas, así como las acciones claves.

En este estudio se propone el análisis para dos vías de concentración representativa o RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5 W/m^2 y 8.5 W/m^2 , las cuales representan los posibles forzamientos radiativos para el 2100 con respecto a 1750 (Wagena y Easton, 2018) considerando algunas “políticas de mitigación o adaptación”, las cuales podrían generar aumentos o disminuciones en variables climáticas,

tales como la precipitación y la temperatura, en una cuenca costera del estado de Tamaulipas, cuyos contrastes climáticos, de suelo, vegetación, poblacionales repercuten en el comportamiento del clima futuro.

El análisis de las anomalías de temperatura, presentan una relación con las anomalías de los rendimientos en cultivos tales como el maíz, esto impacta en la importancia que tiene la consideración en los incrementos de temperatura mensual para prevenir el comportamiento estacional y mitigar las pérdidas en la actividad agrícola (Vogel *et al.*, 2019), incluyendo el desarrollo de paquetes tecnológicos y planes de cultivo, tanto de temporal como riego incorporando la variable de cambio climático como medida predictiva para una planeación adaptativa.

Métodos y materiales

Área de estudio

La cuenca del río Soto la Marina, forma parte de la Región Hidrológica No. 25, la región es administrada por el Organismo de Cuenca Golfo-Norte IX, mientras que el Consejo de Cuenca 18 del río San Fernando-Soto la Marina constituido hace 19 años, conjunta esfuerzos por preservar la cantidad y calidad de agua en la cuenca. La superficie que transige la cuenca es de $21\,164.51 \text{ km}^2$, conformada por 13 tramos de aguas arriba hacia aguas abajo son: el río Pílon 1 y 2, río Blanco, río San Antonio, río Purificación 1 y 2, río Corona, arroyo Grande, Área no Aforada, río Soto la Marina 1, 2 y 3, y finalmente el río Palmas hasta desembocar al golfo de México. Entre su infraestructura hidráulica destaca la

presa Vicente Guerrero “Las Adjuntas”, en Padilla, Tamaulipas, así como otras 9 presas que funcionan como almacenamiento y derivación y un Distrito de Riego (086) en Abasolo cuya superficie regable es de $35\,925 \text{ ha.}$ con $3\,165$ usuarios de agua, donde se siembra principalmente maíz, sorgo, pastos y cítricos. De los 19 municipios que abastece la cuenca, Cd. Victoria es el principal centro de demanda de agua subterránea y donde se localiza la mayor concentración poblacional, es la capital del estado. Al censo del 2010 de INEGI habitan $454\,609$ personas en la cuenca del río Soto la Marina.

La región se localiza en la parte central de la línea de costa de Tamaulipas, cuyas llanuras y lomerías poseen rocas sedimentarias y

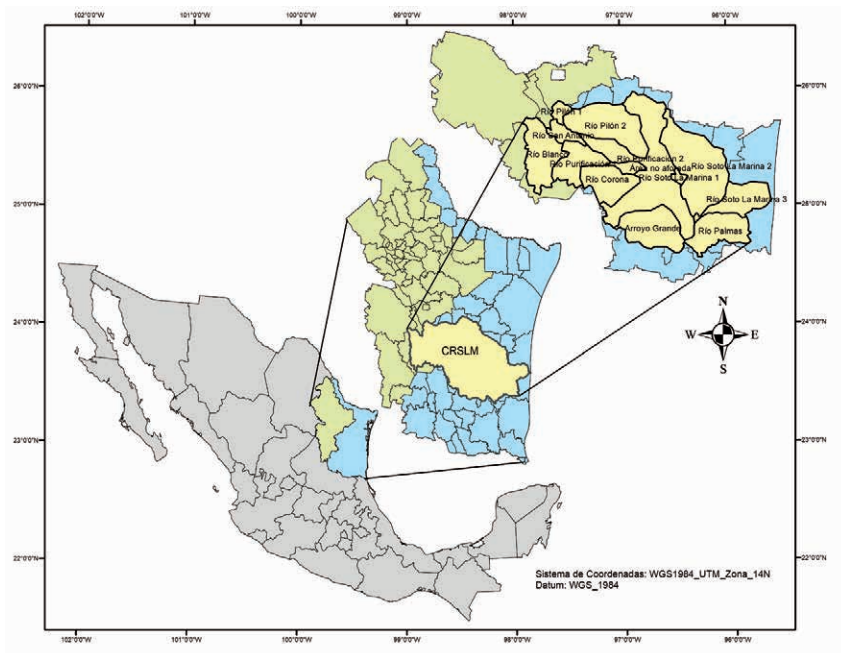


Figura 1. Localización de la cuenca costera del Río Soto la Marina en Tamaulipas, México.

suelos de tipo vertisol y litosoles debido a las serranías en la cuenca alta, sierra Madre Oriental, sierra de San Carlos y la sierra de Tamaulipas. El clima templado-cálido alberga vegetación de matorral y pastizal en casi el 50 % de la superficie (CIDIPORT, 2015). La precipitación promedio anual registrada en la serie 1981-2010, proveniente de 45 estaciones climatológicas dentro y fuera de cuenca del Sistema Meteorológico Nacional, indica ser de 681.5 mm y para el caso de la temperatura promedio anual para la misma serie temporal, es de 19.1 °C, con máximas en verano de 26 °C y mínimas entre 6 °C y 8 °C en la cuenca alta. Con base en la relación precipitación y temperatura anual, se determinó el índice de Lang (pluviotérmico) de 35.68, lo cual designa a la cuenca con un clima árido (Vargas, 2014).

El proceso metodológico

El procesamiento se lleva a cabo en un Sistema de Información Geográfica (SIG) considerando la climatología base en formato tipo raster de la base de datos Worldclim Global (2015) documentada por Hijmans, *et al.* (2005), cuya serie considera las normales de 1950 a 2000. Los MCG considerados y tomados del CMIP5 fueron el GFDL-CM3 (Estados Unidos) y HADGEM2-ES (Reino Unido) para los escenarios radiativos RCP 4.5 W/m² y RCP 8.5 W/m² para los incrementos de temperatura global de 1.5 °C y 2 °C. La climatología del World Climate Data posee una resolución de 0.5° x 0.5° y fue tratada considerando la calidad de los datos, bajo una interpolación spline suavizado. Los archivos de anomalías en formato Geotiff y txt, fueron proporcionados por el proyecto de consultoría

“Estimación de rangos de incertidumbre en las fechas para alcanzar los valores de incremento en la temperatura promedio global 1.0, 1.5 y 2.0 °C y las implicaciones para la República Mexicana como producto de la Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” (Sánchez y López, 2017), las cuales se procesaron en un SIG recortando el área de estudio para tener los shapefile y extraer los datos. Las anomalías que Sánchez y López

(2017) extrajeron del proyecto CMIP5, correspondieron a los umbrales, que son los años o las fechas estimadas en que se alcanzarán los incrementos de 1.5 °C y 2 °C, las cuales son a partir de 2041 y 2051 respectivamente. Se utilizaron las poligonales más recientes que marca el DOF (2016) para definir los tramos de la cuenca de análisis. Se presentan las anomalías de temperatura y precipitación por tramo para ambos MCG y los dos forzamientos.

Resultados y discusión

Se muestra el comportamiento de la precipitación base y con impacto de cambio climático considerando las anomalías de los escenarios para los 13 tramos que conforman la cuenca costera en tres meses representativos; estiaje (enero), transición (mayo) y lluvias (septiembre).

El análisis del comportamiento en los modelos del CMIP5 para México, ha sido estudiado por Colorado *et al.* (2018), destacando que las temperaturas se verán incrementadas en 1.5 °C y 2 °C entre los años 2035 y 2055 con cambios negativos en la precipitación. Estos esfuerzos han proporcionado las bases para determinar el comportamiento de las lluvias y las temperaturas en regiones propensas a huracanes y sequías, pues son los focos de atención de los impactos irreversibles del cambio climático. Cabe mencionar que estas y muchas otras investigaciones igual de importantes, contribuyen a minimizar la incertidumbre de la información climática con la que cuenta el país, pues aunque no se tiene un MCG propio, se han logrado adoptar algunos de ellos desarrollando ensambles con

ayuda de las bases climatológicas existentes y procesándola bajo análisis muy detallados para conocer la cantidad y calidad de información para series de tiempo de por lo menos 30 años, condición necesaria para generar tanto índices de clima como escenarios climáticos. Un interesante análisis del comportamiento histórico del clima y la cantidad de información registrada en dos cuencas al norte (río Conchos, región árida) y al sur (Usumacinta, región húmeda) de México, concluye la existencia de tan sólo el 13 % y el 33 % de estaciones climáticas respectivamente, las cuales cumplen con el 80 % de información requerida y recomendada por la Organización Meteorológica Mundial para hacer estudios de clima profundos, como la determinación de normales climáticas o índices de cambio climático (Montero *et al.*, 2018). La calidad y resolución de los datos son de suma importancia para generar modelo de simulación futura del comportamiento de las cuencas en términos hidrológicos y de clima (Amin *et al.*, 2017).

Para el caso del área de estudio ubicada en el noreste de México, la cuenca del río Soto la Marina, se presenta la precipitación del clima base de Hijmans *et al.* (2005) y la impactada para el escenarios medio o RCP4.5 W/m² (figura 2), tomando los dos MCG y considerando un incremento de temperatura de 1.5 °C y 2 °C. Cabe mencionar que los tramos de la cuenca se presentan de izquierda a derecha, de la cuenca alta (desde Pílon 1) a la baja o el tramo que desemboca al golfo de México (hasta río Soto la Marina 3). En efecto, para el mes enero, considerado como seco, el tramo Pílon 1 se verá severamente impactado con una disminución de casi el 100 % de la lluvia para ese mes, de incrementarse la temperatura 1.5 °C para el MCG GFDL-CM3, mientras que para un aumento de 2 °C pareciera recuperarse, sin embargo, la escasez de lluvia se estima en un 80 % a 90 %. Para el caso del HADGEM2-ES, mismo tramo de río, un incremento de 1.5 °C será más severo que el de

2 °C. Mirando hacia el horizonte de 2 °C, existe la posibilidad de que el sistema logre adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. El modelo HADGEM2-ES se observa más positivo al cambio del mes de enero para el tramo en cuestión. Lo anterior no significa que 2 °C es mejor que 1.5 °C, pues se debe recordar que las tendencias de inestabilidad, alteración e impactos negativos continúan exacerbando las condiciones de vida planetaria y los ciclos naturales. Claramente se observa lo que la literatura ha marcado para el futuro del clima en México, el mes de enero y mayo registra disminuciones en lluvia, el mes seco más seco, mientras que, para septiembre, con base en el modelo GFDL-CM3, se estima un incremento con respecto a la base, mientras que el modelo HADGEM2-ES se registra una ligera disminución para los 13 tramos de la cuenca al incrementarse 2 °C la temperatura global.

Con el análisis anterior, es de subrayarse que la precipitación es variable en espacio

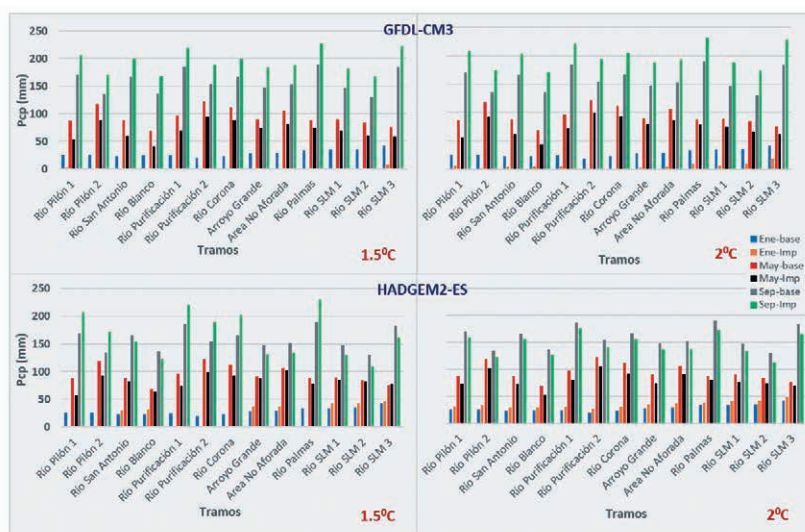


Figura 2. Precipitación para enero, mayo y septiembre base e impactada para el escenario RCP 4.5 W/m² para los MCG GFDL-CM3 y HADGEM2-ES a 1.5 °C y 2 °C. Fuente: Elaboración propia.

y tiempo, y aunque en México se conoce la normalidad de su comportamiento estacional por región, los efectos varían a razón de la vegetación existente, el suelo, entre otros factores, por lo tanto, para estimar el comportamiento futuro de la precipitación ante escenarios climáticos, se requiere determinar climatologías históricas de calidad y homogéneas, razón por la que fue seleccionada la base de datos Worldclim documentada por Hijmans *et al.* (2005). Desde principios de los 90s, gracias a los informes del IPCC, se sabe que las condiciones climáticas serán más cálidas y secas, lo que aún queda por saber que tan cálidas y que tan secas serán, pues los mecanismos de adaptación deberán priorizarse para esos lugares, en esos meses o días, para esa población o en ese sector de esa comunidad. Es decir, puntualizar en las zonas de mayor riesgo, donde lloverá aún menos y las temperaturas se elevarán aún más, conduciendo al desarrollo de sociedades resilientes.

Para el escenario RCP 8.5 W/m² modelo GFDL-CM3 (figura 3), nuevamente se observa que la lluvia será totalmente escasa para enero al escenario 1.5 °C, mientras que para 2 °C se recupera ligeramente conforme se acerca a los tramos de la cuenca baja, no obstante, esta recuperación aún está por debajo del clima base. En contraparte, el modelo HADGEM2-ES se observa más positivo, debido que para el mes de enero las precipitaciones se incrementarán para todos los tramos de la cuenca y para mayo se estima una disminución con referencia al clima base de la serie 1950-2000, lo anterior para ambos incrementos de temperatura global. Para el mes de septiembre, cuya precipitación promedio es de 129.78 mm (CIDIPORT, 2015), se presenta una ligera disminución de lluvia a excepción de la cuenca baja, a partir del tramo río Palmas, Soto la Marina 1, 2 y 3, esto para un incremento de 1.5 °C, mientras que para un incremento de 2 °C se presenta una re-

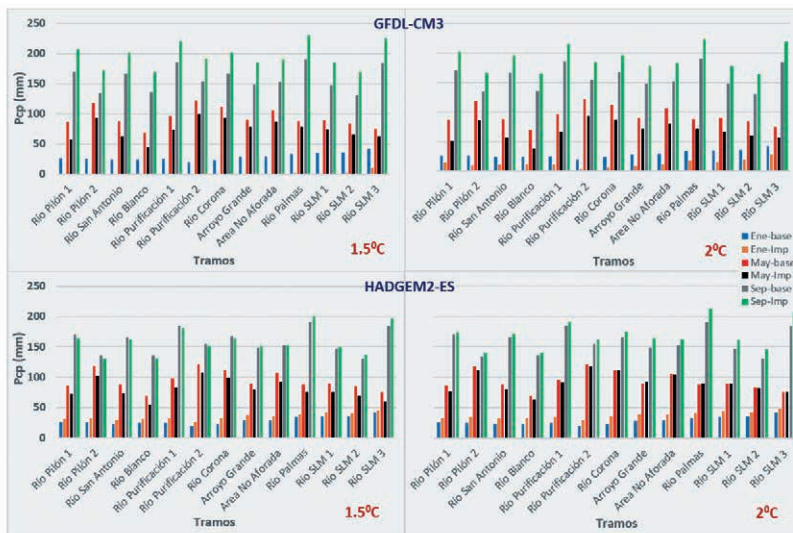


Figura 3. Precipitación para enero, mayo y septiembre base e impactada para el escenario RCP 8.5 W/m² para los MCG GFDL-CM3 y HADGEM2-ES a 1.5 °C y 2 °C. Fuente: Elaboración Propia.

cuperación en la precipitación destacando nuevamente la cuenca baja, esto deja ver el contraste entre un modelo y otro, considerando ambos cambios en los regímenes de lluvia. La precipitación promedio anual en la cuenca del río Soto la Marina (13 tramos) mediante Hijmans *et al.* (2005) para el modelo GFDL-CM3 es de 767.27 mm y la precipitación media anual con el impacto del escenario RCP 4.5 W/m² para el 2051 se estima en 685.59 mm, consistente con un incremento global de 2 °C, mientras que para el caso del escenario RCP 8.5 W/m² el impacto se estima en 661.96 mm, lo que refleja un decremento de precipitación para la cuenca del 10.6 % y 13.7 %, respectivamente. Para el modelo HADGEM2-ES, el decremento de precipitación para el RCP 4.5 W/m² es de 8.16% y para el RCP 8.5 W/m² de 5 %, siendo el modelo más optimista en sus proyecciones.

Cabe mencionar que los estudios de Montero *et al.* (2013) identificaron cambios importantes en la precipitación en invierno para la parte occidental del país, en contraste, para el verano los modelos indican decrementos en la precipitación que oscilan entre 35 % a 40 % para finales de siglo para la zona sur. Mientras en México no se desarrolle una gestión integral del agua y las políticas incluyan la variable de cambio climático, las regiones secas serán aún más secas, lo mismo con las regiones húmedas. La población al norte de México seguirá creciendo y los recursos se verán aún más sobreexplotados para cubrir la demanda tanto alimenticia como de agua, por tal motivo, Oswald (2014) afirma la necesidad de considerar las proyecciones de cambio climático y las reservas naturales tanto espaciales como temporales, sobre todo en las áreas costeras donde los impactos son más severos, todo ello para lograr

una planeación de los recursos hídricos, enmarcada en una actualización del marco legal que confronte el calentamiento global y las actividades antrópicas.

En la figura 4 se presentan los incrementos de temperatura para los 13 tramos para el escenario RCP 4.5 W/m², con base en el modelo GFDL-CM3, el mes de mayo destaca con incrementos importantes para el 2041, sobresale el río Purificación 1, cuyo clima base es de 23.1 °C y la impactada por el escenario es de 28.63 °C, es decir, un aumento cercano a los 5 °C, mientras que para el 2051 (2 °C de incremento global) el aumento de temperatura es de 26 °C, 3 °C por arriba de lo normal. Para el modelo HADGEM2-ES esta condición es más conservadora, sin embargo, los aumentos se observan para todos los tramos. En la figura 5 se presenta el comportamiento del escenario RCP 8.5 W/m² con incrementos del orden de los 3 °C por tramo, siendo la cuenca baja donde se registran temperaturas mayores con respecto a la cuenca alta, esto conforme se acerca a la costa del golfo de México.

Con base en la investigación de Montero *et al.* (2013) los días fríos serán menores, mientras que el calentamiento se acentúa en verano, esperando cambios mayores a 5 °C para el centro del país, en conclusión las anomalías proyectadas para la segunda mitad de siglo indican incrementos en temperaturas y decrementos en precipitación en la mayor parte del país.

La temperatura promedio anual en la cuenca del río Soto la Marina, la cual corresponde al Consejo de Cuenca 18, presenta un umbral de 14.1 °C y 25.1 °C (CIDIPORT, 2015), mientras el clima base considerado en este estudio es de 11.8 °C y 29.1 °C (Hijmans *et al.*, 2005), esto refleja la variabilidad que presenta cada base



Figura 4. Temperatura para enero, mayo y septiembre base e impactada para el escenario RCP 4.5 W/m² para los MCG GFDL-CM3 y HADGEM2-ES a 1.5 °C y 2 °C. Fuente: Elaboración Propia.

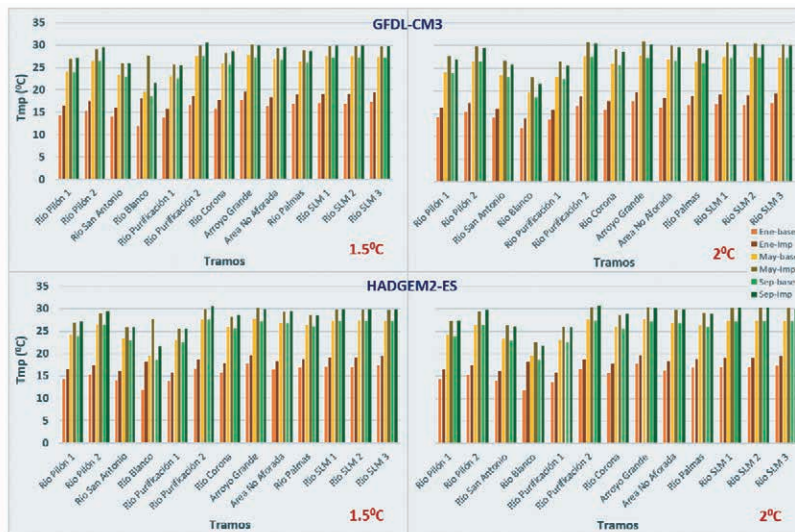


Figura 5. Temperatura para enero, mayo y septiembre base e impactada para el escenario RCP 8.5 W/m² para los MCG GFDL-CM3 y HADGEM2-ES a 1.5 °C y 2 °C. Fuente: Elaboración Propia.

de datos, razón por la que la climatología debe ser validada previa a generar escenarios de cambio climático, precisando que un escenario representa futuros posibles, no existiendo un tipo de escenario adecuado, donde la incertidumbre juega un papel importante, por tal motivo se consideran rangos o umbrales de los posibles cambios futuros. Los estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación deben basarse en escenarios de cambio climático, siempre que estos sean consistentes con otras regiones, de tal forma que representan el cambio proyectado (INECC, 2018).

La presente investigación muestra incrementos y decrementos a escala mensual, presentando únicamente tres meses, por tal motivo las anomalías presentan mayor significancia. La temperatura promedio anual en la cuenca del río Soto la Marina (13 tramos) tomando Hijmans *et al.*, 2005) es de 22.16 °C y la temperatura media anual con el impacto del escenario RCP 4.5 W/m² al 2051, el cual tendría que considerar políticas climáticas interesantes, estima 24.45 °C consistente con un incremento global de 2 °C, mientras que para el caso del escenario RCP 8.5 W/m² el impacto se estima en 25.01 °C, lo anterior para el modelo GFDL-CM3, mientras que para el HADGEM2-ES es de 24.7 °C y 25.11 °C, respectivamente.

Las medidas adaptativas que se implementen son particulares para cada región, deben estar ligadas con las necesidades de cada comunidad, pues el comportamiento de la sociedad y sus mecanismos de adaptativos forman parte de sus decisiones diarias para mitigar los efectos adversos del cambio climático (Hossainet *al.*, 2018). Es el caso de las cuencas costeras, las actividades económicas, la concentración de la población, los sectores activos, el clima, sus políticas de aprovechamiento de recursos, entre

otros factores, deben ser estudiados incluso a escalas más pequeñas, tales como un tramo de río y sus alrededores, una subcuenca, microcuenca, un ecosistema acuático, una localidad rural o urbana, con el fin de tener el detalle de los cambios que han sucedido, lo que más adolece en la actualidad y lo que sucederá en el futuro de seguir bajo las mismas prácticas.

En las siguientes tablas 1 y 2 se muestran los porcentajes de disminución/aumento mensuales de la precipitación para la cuenca de análisis, se puede observar que los meses de estiaje serán más agudos, mientras que para el caso del mes más lluvioso se registran incrementos que oscilan de un 19 % a 25 % para el modelo GFDL-CM3 y para el HADGEM2-ES un 4 % a un incremento global de temperatura de 1.5 °C para el escenario RCP 4.5 W/m² y 7 % a un incremento de 2 °C para el escenario RCP 8.5 W/m². Es importante considerar los cambios abruptos o intermitentes que pudiera generarse producto de huracanes, lluvias atípicas y extremas, vientos, entre otros eventos, los cuales cambiarían la proyección de inmediato.

Para el modelo GFDL-CM3 el verano (junio-septiembre) se verá inducido por el cambio climático incrementando la temperatura en un rango de 7 % a 10 % para el RCP 4.5 W/m² y de 7 % a 12.7 % para el RCP 8.5 W/m², resaltando que para el mes de diciembre hay aumentos en la temperatura de casi 17 % para el RCP 8.5 W/m² si la temperatura se incrementara 2 °C, esto es, inviernos y veranos más cálidos (tabla 3). Para el modelo HADGEM2-ES los incrementos en temperatura son similares, pues se observa en el escenario RCP 4.5 W/m² un incremento del 7 % al 11 % y en el el 8.5 W/m² de 10 % al 13 % para (tabla 4). En efecto, estos incrementos representan tener

Tabla 1. Impacto del cambio climático en la precipitación de la cuenca a un incremento de 1.5 °C y 2 °C, modelo GDFL-CM3*.

RCP	Umbral	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
4.5	1.5 °C	-95.8%	-17.8%	14.3%	-72.7%	-25.5%	4.3%	-3.2%	-6.0%	22.3%	-84.9%	-1.2%	52.9%
	2.0 °C	-78.3%	-86.9%	33.3%	-67.3%	-20.9%	6.4%	-2.7%	-8.5%	25.1%	-75.7%	1.7%	54.7%
8.5	1.5 °C	-95.2%	-77.1%	7.1%	-62.3%	-20.9%	3.9%	-7.1%	-16.6%	23.5%	-64.1%	-5.0%	16.9%
	2.0 °C	-55.5%	-96.2%	4.9%	-63.0%	-28.1%	1.2%	-6.8%	-17.7%	19.4%	-70.2%	30.0%	51.1%

*Porcentajes de aumento o reducción de la precipitación media mensual bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 W/m² con un aumento de temperatura global de 1.5 °C y 2 °C para el GDFL-CM3. Se resaltan los meses con mayor reducción.

Tabla 2. Impacto del cambio climático en la precipitación de la cuenca a un incremento de 1.5 °C y 2 °C, modelo HADGEM2-ES*.

RCP	Umbral	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
4.5	1.5 °C	-27.2%	-41.4%	-3.3%	-26.8%	-12.3%	-3.9%	-16.7%	-14.1%	4.8%	-29.0%	-17.9%	-17.0%
	2.0 °C	22.6%	-53.3%	-5.2%	-6.7%	-14.9%	-13.3%	-15.5%	1.8%	-8.3%	7.3%	-12.0%	-19.1%
8.5	1.5 °C	22.5%	-6.7%	-5.7%	-7.4%	-15.0%	-16.4%	-32.0%	-18.8%	0.3%	-7.6%	-48.6%	-11.7%
	2.0 °C	32.2%	14.3%	-5.0%	-3.3%	-3.2%	-14.2%	-19.2%	-22.7%	7.0%	3.4%	-32.5%	11.9%

*Porcentajes de aumento o reducción de la precipitación media mensual bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 W/m² con un aumento de temperatura global de 1.5 °C y 2 °C para el HADGEM2-ES.

Tabla 3. Impacto del cambio climático en la temperatura de la cuenca a un incremento de 1.5 °C y 2 °C, modelo GDFL-CM3*.

RCP	Umbral	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
4.5	1.5 °C	13.3%	5.7%	11.5%	12.0%	9.9%	9.8%	9.0%	8.7%	7.5%	9.5%	8.1%	14.3%
	2.0 °C	12.5%	7.0%	12.6%	12.5%	11.0%	10.3%	9.0%	9.5%	8.8%	8.2%	8.8%	14.9%
8.5	1.5 °C	9.9%	6.6%	11.7%	11.7%	9.4%	9.5%	7.7%	8.7%	7.2%	8.0%	7.0%	10.4%
	2.0 °C	13.1%	12.3%	15.2%	14.9%	12.5%	12.7%	10.5%	11.8%	11.5%	13.0%	11.3%	16.8%

*Porcentajes de aumento en la temperatura media mensual bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 W/m² con un aumento de temperatura global de 1.5 °C y 2 °C para el GDFL-CM3.

Tabla 4. Impacto del cambio climático en la temperatura de la cuenca a un incremento de 1.5 °C y 2 °C, modelo HADGEM2-ES*.

RCP	Umbral	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
4.5	1.5 °C	9.3%	11.0%	10.6%	10.7%	8.2%	7.4%	8.2%	8.9%	10.5%	11.2%	11.9%	16.9%
	2.0 °C	11.4%	13.7%	14.1%	12.2%	10.6%	9.4%	8.9%	9.5%	11.3%	12.1%	13.3%	18.0%
8.5	1.5 °C	15.2%	12.9%	12.8%	13.1%	11.2%	11.7%	11.2%	12.6%	12.9%	14.4%	18.1%	20.7%
	2.0 °C	15.7%	14.3%	13.4%	13.1%	11.2%	11.3%	10.8%	12.3%	12.5%	13.3%	17.3%	18.3%

*Porcentajes de aumento en la temperatura media mensual bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 W/m² con un aumento de temperatura global de 1.5 °C y 2 °C para el HADGEM2-ES.

1.5 °C y 2 °C de lo que normalmente se ha comportado el clima, aunque esto se estima entre 2041 y 2051, actualmente los efectos ya están presentes, con veranos más cálidos y sequías prolongadas con intermitencias de eventos hidrometeorológicos extremos que impactan negativamente sobretodo en zona vulnerables, tales como las costeras, en donde la adaptación juega un papel fundamental para mitigar los imprevistos climáticos.

Las anomalías de las variables precipitación y la temperatura son indicadores de cambio climático que permiten conocer la repercusión que se tendría en los diferentes sectores productivos, tales como la agricultura y la pesca, pero también indican los riesgos o impactos en el ambiente, las alteraciones ecosistémica y son la pauta para activar los mecanismos de adaptación de la sociedad misma para cubrir demandas y ser resilientes en todos los aspectos; infraestructura, salud, economía, política, entre otros elementos que deben ser considerados para alcanzar la más mínima afectación, aunque sea ya inevitable. Por ejemplo, a los impactos negativos del cambio

climático en el sector agrícola se atribuyen la disminución de los rendimientos de los cultivos coadyuvando esto a la inseguridad alimentaria, estos efectos se relacionan con la variabilidad en la precipitación y la temperatura. Regiones de América Central y Sur, han generado mecanismos de adaptación incorporando variedades de cultivos más resistentes, así como considerando predicciones climáticas y mejor aún, buscando la gestión integrada de los recursos hídricos (IPCC, 2014a).

Cambio climático y el uso de los escenarios, debe ir hacia la ruta pragmática dando prioridad a las acciones propuestas producto de las investigaciones llevadas a cabo y que diariamente se producen con el fin de impulsar la toma de decisiones más adecuadas para mitigar la problemática que se enfrenta debido al calentamiento global, donde el punto de no retorno está cada vez más cerca. Las tendencias son motivo de acciones inmediatas, las decisiones políticas deben ir entorno de los resultados de los escenarios futuros, para cambiar la perspectiva e implementar las acciones concretas y a tiempo (Rueda y Vargas, 2019).

Conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones

Se aplicaron escenarios de cambio climático para dos tiempos futuros hacia incrementos de temperatura de 1.5 °C y 2 °C en la cuenca costera del río Soto la Marina, cuyos contrastes en clima, actividades económicas, concentración de población y políticas de manejo del agua, contribuyen a vulnerar ciertos tramos de río y que bajo condiciones de cambio climático se verán exacerbados. Se estima una reducción en la

precipitación anual en un rango del 10.6 % y 13.7 % para el modelo más severo, GFDL-CM3, hacia un incremento de temperatura global de 2 °C para el escenario 8.5 W/m². La cuenca presenta incrementos de la temperatura entre 2 °C y 5 °C para el escenario más adverso, por ello la formulación y los planteamientos de estrategias, a través de la consideración de estos cambios, deben ser una actividad programada y llevada a

cabo por consejos y comisiones de cuenca, autoridades municipales, así como por la sociedad que se sustenta de la actividad agropecuaria. Estas estrategias deben ser las más apropiadas para mitigar los efectos y adaptarse rápidamente a un clima en constante cambio.

Se propone contrastar resultados generando una malla de precipitación y temperatura con datos del Servicio Meteorológico Nacional bajo previas pruebas de calidad y homogeneidad, así como la descarga de las anomalías del proyecto CMIP5 para contrastar resultados. Por otro lado, transformar la precipitación base y futura de la cuenca en escurrimientos mensuales, contribuye a reforzar los escenarios de cambio climático para conocer los volúmenes de agua que se tendrán en un futuro de seguir bajo las mismas prácticas de uso del recurso, es decir, la demanda de agua futura a nivel de cuenca, para activar los mecanismos de adaptación considerando los volúmenes de agua disponibles. De igual manera, los procesos de evapotranspiración con incidencia

en la agricultura para los requerimientos de agua y los balances hídricos son procesos metodológicos que deben ser llevado a cabo tomando en cuenta la variable climática futura.

Adicionalmente, como medidas de mitigación a la problemática, es necesaria una economía circular del agua en las cuencas costeras, pues representa una vía de prevención y acción, a través de la operación de plantas de tratamiento de agua residual y de la gestión de los recursos de forma más eficiente, mediante la actualización del REPDA (Registro Público de Derechos de Agua), el pago justo por el agua y por los servicios ambientales, el funcionamiento de los consejos de cuenca basado en la participación de los usuarios y en la capacitación constante del manejo del agua, ya que la concientización es la base para impulsar los cambios en la política pública, así como las sanciones a través de la aplicación de la normatividad vigente, aunado a la actualización de esta, considerando los efectos adversos del cambio climático.

Literatura citada

- Agovino, M., M. Casaccia, M. Ciommi, y F. Maria, 2018. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*, In Press. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.064>
- Amin, M., A. Shaaban, A. Ercan, K. Ishida, M. Kavas, Z. Chen, y S. Jang, 2017. Future climate change impact assessment of watershed scale hydrologic processes in Peninsular Malaysia by a regional climate model coupled with a physically-based hydrology modelo. *Science of the Total Environment*, 575: 12-22. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.10.009
- CIDIPORT, 2015. Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía Consejo de Cuenca del Río San Fernando-Soto la Marina. Organismo de Cuenca IX Golfo Norte. 1era. Versión. Tampico, Tamaulipas: Programa Nacional contra la Sequía.
- CMNUCC, 2015. Plataforma de Durban para una Acción Reforzada (decisión 1/CP.17): Aprobación de un protocolo, otro instrumento jurídico o , una conclusión acordada con fuerza legal en el marco de una conclusión acordada con fuerza legal en el marco de la Convención. *FCCC/CP/2015/L.9*.
- Colorado, G., T. Cavazos, J. Salinas, P. De Grau, y R. Ayala, 2018. Climate change projections from Coupled Model Intercomparison Project phase 5 multi-model weighted ensembles for Mexico, the North American monsoon, and the mid-summer drought region. *Internation-*

- al Journal of Climatology*, 1-18. doi:10.1002/joc.5773
- Cortignani, R., y G. Dono, 2018. Agricultural policy and climate change: An integrated assessment of the impacts on an agricultural area of Southern Italy. *Environmental Science and Policy*, 81: 26-35. doi:https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.12.003
- DOF, 2016. (27/may/2016). Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5439123
- FAO, 2013. Afrontar la escasez del Agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fernández, A., R. Romero, y J. Zavala, 2014. Metodologías Empleadas en el Atlas Climático Digital de México para la Generación de Mapas de Alta Resolución. *GeoActa*, 39(1): 165-173.
- Fernández, A., J.R. Zavala, A.C. Conde, y R. I. Trejo, 2015. Actualización de escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica. Ciudad de México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. .
- Gay, C., O. Sánchez, B. Martínez, A. Nebot, y F. Estrada, 2014. Fuzzy Models: Easier to Understand and an Easier Way to Handle Uncertainties in Climate Change Research. doi:10.1007/978-3-319-03581-9_16
- Hijmans, R., S. Cameron, J. Parra, P. Jones, y A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal Of Climatology*, 25(15): 1965-1978. doi:10.1002/joc.1276
- Hossain, M., M. Ahmed, E. Ojea, y J. Fernandes, 2018. Impacts and responses to environmental change in coastal livelihoods of south-west Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 637(638): 954-970. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.328
- INECC., 2018. Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. .
- IPCCa, 2014. Cambio Climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Suiza.
- IPCCb, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. Recuperado el 20 de agosto de 2015, de http://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/ipcc_SynthesisReport.pdf
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers, In: Global warming of 1.50C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.50C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathway. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Martínez, B., 2015. Modelos Climáticos y su evaluación. p. 205-217. En C. Gay, & J. C. Rueda, Reporte Mexicano de Cambio Climático. Grupo I. Bases Científicas. Modelos y Modelaciones. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Investigación en Cambio Climático.
- Montero, M., y M. Andrade, 2015. Cambio Climático, Proyecciones y Predictibilidad. p. 247-258. En: P. N. Climático, Reporte Mexicano de Cambio Climático. Grupo 1 Bases Científicas, Modelos y modelación. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Montero, M., W. Ojeda, J. Santana, R. Prieto, y R. Lobato, 2013. Sistema de Consulta de Proyecciones Regionalizadas de Cambio Climático para México. *Tecnología y Ciencia del Agua*, IV(2): 113-128.
- Montero, M., J. Santana, N. Pérez, O. Pita, y S. Castillo, 2018. Comparing climate change indices between a northern (arid) and a southern (humid) basin in Mexico during the last decades. *Advances in Science & Research*, 15: 231-237. doi:10.5194/asr-15-231-2018
- Nakicenovic, N., s.f. Adaptation and Mitigation Pathways. International Institute for Applied Systems Analysis.
- Oswald, U., 2014. Water security and national water law in Mexico. *Earth Perspectives*, 1(7): 1-15. Obtenido de <http://www.earth-perspectives.com/1/1/7>

- Rodríguez, D., C. Bonet, B. Mola, y P. Guerrero, 2018. Propuesta de estrategia de extensión de buenas prácticas de riego en una unidad productiva agrícola. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(2): 35-40.
- Rueda, J., y R. Vargas, 2019. ¿Podemos cambiar el futuro del mundo? En E. Bámaca López, Voces interdisciplinarias sobre cambio climático (págs. 63-91). Sao Carlos, Brasil: Pedro & Joao.
- Sánchez, O., y J. López, 2017. Estimación de rangos de incertidumbre en las fechas para alcanzar los valores de incremento en la temperatura promedio global 1.0, 1.5 y 2.0 °C y las implicaciones para la República Mexicana como producto de la Sexta Comunicación Nacional de México. Ciudad de México: INECC, PNUD, GEF, SEMARNAT.
- Schleussner, C.-F., T.R. Lissner, y K. Childers, 2016. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case 1.5 °C y 2 °C. *Earth Syst. Dynam.*, 7: 327-351. doi:10.5194/esd-7-327-2016
- Vargas, R., 2014. Cambio Climático y su Impacto en la Disponibilidad de la Cuenca del Río Soto la Marina en Tamaulipas, México. Tesis para obtener el grado de doctor en Medioambiente, 359. Tampico, Tamaulipas, México: Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Vogel, E., M. Donat, L. Alexander, M. Meinshausen, D. Ray, D. Karoly, *et al.*, 2019. The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environmental Research Letters*, 14: 1-12. doi:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab154b>
- Wagena, M., y Z. Easton, 2018. Agricultural conservation practices can help mitigate the impact of climate change. *Science of the Total Environment*, 635: 132-143. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.110>
- WorldClim-Global Climate Data, 2015. Obtenido de http://atlasclimatico.unam.mx/AECC_descargas/
- Yáñez, A., y Day, J. (2010). La zona costera frente al cambio climático-vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en manejo costero. En Y. A., Impactos del Cambio Climático sobre la zona costera (págs. 12-35). Ciudad de México: Instituto de Ecología A.C., Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología.

Cambio temporal en los sedimentos de las playas del sur del estado de Campeche: una herramienta para la toma de decisiones

*R. Canul, E. Mendoza, G. Posada,
G. Santos Martínez y F. E. Puc Cutz*

Resumen

Conocer los cambios en el tamaño de los sedimentos es una herramienta útil para los investigadores, gestores y actores de la zona costera, ya que permite evaluar el potencial de los sitios ante la extracción y depositación de arena, calcular la movilidad de los sedimentos y su dirección de desplazamiento. Como resultado, con un adecuado análisis de la dinámica de sedimentos es posible refinar las acciones de intervención ante escenarios actuales y futuros. En Campeche, las acciones que actualmente se

realizan en la costa generalmente carecen de información histórica del proceso evolutivo de las variables que en él intervienen, dentro de las cuales no está exento el análisis de sedimentos, lo anterior se traduce en un desarrollo costero deficiente. El presente trabajo analiza los cambios temporales en sedimentos de cuatro playas cuyos resultados pretenden ser pieza fundamental para la toma de decisiones y recomendaciones. Se compararon muestras de sedimentos de las playas de Sabancuy, Isla Aguada, Playa Norte y Nuevo Campechito para los años 1981 y 2007 (Carranza-Edwards *et al.*, 2015) con campañas de campo realizadas en 2015 y 2017. Los resultados del análisis de los parámetros texturales y ambientes de depositación muestran que la playa de Nuevo Campechito aparenta una estabilidad, mientras que Playa Norte es la zona con mayor variabilidad en el tamaño medio de grano, seguida de Sabancuy e Isla Aguada.

Palabras clave: análisis sedimentos, playas, ambientes de depositación, Campeche

Introducción

Los trabajos de investigación en torno a los sedimentos de playas son variados e interpretados desde muy diversas ópticas. Algunos de ellos involucran el análisis de otras variables oceanográficas para inferir el grado de estabilidad de la playa e inferir patrones de transporte sedimentario. Por ejemplo Cuevas *et al.* (2013) evaluaron el estado morfológico de tres áreas de estudio en Yucatán, México, empleando una metodología basada en la recolección de datos sismológicos correspondientes a la medición de la longitud de onda de dunas y su altura por medio de imágenes. Para el análisis granulométrico emplearon la metodología de Folk (1980), donde analizaron solo 50 g con siete tamices. Encontraron que las dunas tienen asimetría bien marcada, relacionada con el sentido en que se mueven y el sedimento dominante es arena media moderadamente bien clasificada, sus resultados sientan las bases para el monitoreo sistemático de las dunas y los resultados se consideran en la evaluación ecológica del sistema.

Merlotto *et al.* (2013) compararon los resultados granulométricos y de batimetrías entre playas ubicadas en la provincia de Buenos Aires, en las playas de Necochea y Quequén en Argentina. Analizaron la morfología y las variaciones sedimentarias de cinco playas a partir de 102 perfiles topográficos estacionales y muestreos de sedimentos realizados entre febrero de 2006 y diciembre de 2009. Durante el invierno, todas las playas presentaron un estado más disipativo, mientras que en verano y otoño un estado más reflejante, en concordancia con los ciclos de erosión/acreción. Sus resultados han sido empleados en la elaboración del plan de manejo costero del área.

Carranza-Edwards *et al.* (2015) evaluaron la morfología y el tipo de sedimento presentes, en dos muestreos regionales en playas del sur del golfo de México y la Riviera Maya, considerando la variación de la marea, precipitación y eventos meteorológicos, para analizar el posible efecto del ascenso del nivel del mar para los años 1981 y 2007. En promedio, los sedimentos anti-

guos están mejor graduados que los recientes, y las playas actuales tienen condiciones erosivas. Así mismo encontraron que, en los sedimentos terrígenos, los rangos de variación de los parámetros texturales no son grandes. Sin embargo, con respecto a los sedimentos carbonatados se establecen fuertes diferencias entre la clasificación de partículas antiguas y recientes, observando que los sedimentos de 2007 presentan tendencia hacia los finos, lo que hace que el sistema sea más susceptible a la erosión bajo condiciones hidrodinámicas considerables. Los resultados revelan que los procesos erosivos tienen causas antrópicas, lo que incrementa la vulnerabilidad ambiental; la disminución de concentraciones de pellets sugiere menor cantidad de organismos litorales y aves debido al impacto antrópico de pérdida de vegetación por crecimiento de las manchas urbanas.

Rivas Rodríguez *et al.* (2016), analizaron, para la playa La Puntilla, la Habana, Cuba, un monitoreo trimestral de tres perfiles topográficos y de la línea de costa. Colectaron una muestra de sedimento en la zona de bajamar de cada perfil y compararon los resultados del año 2014 con el realizado a finales del 2011. Los resultados obtenidos permiten comprobar que la playa se mantuvo estable durante el año 2014 y durante el período 2011-2014. Sin embargo, se observó un incremento de partículas de origen antrópico como fragmentos de vidrios y restos de los cimientos de las construcciones de las edificaciones costeras. Finalmente determinaron el deterioro de las fuentes sedimentarias que imposibilita el abastecimiento de arena a la playa, por lo que se debe redoblar esfuerzos para combatir el robo de arena en la zona.

Los cambios en los parámetros sedimentológicos y su relación con los procesos

erosivos y de depositación, así como el desarrollo de infraestructura costera son indicadores importantes para identificar si estos procesos son dominados por factores antrópicos o naturales y analizar la evolución de los parámetros texturales para un periodo de tiempo dado, permite inferir sobre el transporte sedimentario y el grado de estabilidad de las playas.

Zona de estudio

En la presente contribución se plantea como problema de caso, el litoral del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT). Los sitios de interés (figura 1), se describen a continuación:

- **Sabancuy:** El estero de Sabancuy se localiza en la región oriental de la laguna de Términos en las coordenadas 18° 59' 10" N y 91° 10' 31" O (Carranza-Edwards *et al.*, 1975) y se divide en cinco áreas: El Pujo, San Nicolás, el poblado de Sabancuy, Ensenada Polcai y Santa Rosalía. En el límite noreste, cerca de Ensenada Polcai, existe un canal artificial que conecta con el golfo de México (Villalobos-Zapata y Mendoza-Vega, 2010) que facilita el acceso al mar de los pescadores locales. Su régimen de precipitación media anual es de 1 426.8 mm (García, 1973; González y Torruco, 2001). La zona presenta roca de clase sedimentaria de tipo caliché perteneciente al Cenozoico y el tipo de suelo se clasifica como Solonchak en combinación con Gleysol.
- **Isla Aguada:** forma parte del municipio de Carmen y pertenece al APFFLT. Geográficamente se ubica en las coordenadas 18° 47' 05" N y 91° 29' 30" O, en la desembocadura de la laguna de Términos con el golfo de México (Boca de Puerto Real); la Carretera Federal 180 la atraviesa en sentido oeste-este. Su ré-



Figura 1. Localización playas analizadas para el estado de Campeche.

gimen de precipitación media anual es de 1320 mm, presenta un suelo de tipo Solonchak perteneciente al cuaternario.

- **Playa Norte:** Se encuentra dentro de Ciudad del Carmen, en las coordenadas 18° 39' 53.52" N y 91° 49' 55.68" O. Su régimen de precipitación media anual es de 1 499 mm. Presenta rocas de la era Cuaternaria, su suelo se clasifica de tipo Solonchak.
- **Nuevo Campechito:** Se ubica en la península de Atasta, en el municipio de Carmen en las coordenadas 18° 38' 44" N y 92° 27' 54" O, exactamente en la frontera entre los estados de Campeche y Tabasco. Presenta rocas del Cuaternario y el suelo es de tipo Fluvisol.

Mediciones en campo

Se realizaron mediciones en campo en tres años diferentes. En el año 2012 se muestrearon 3 zonas en Playa Norte, aledañas al puerto. En el año 2015 se muestrearon 14 perfiles de la zona de Sabancuy, con dos muestras por perfil correspondientes a la

Duna y Lavado. Finalmente, en 2017 se recolectaron muestras en las cuatro zonas en estudio: Isla Aguada, Nuevo Campechito, Playa Norte y Sabancuy, siendo este año el mayor en cantidad de muestras (tabla 1).

En la figura 2 se presenta la distribución espacial de las zonas en donde se colectaron las muestras, así como la ubicación de las 8 muestras analizadas y reportadas por Carranza-Edwards *et al.* (2015).

Análisis de los datos

Se obtuvo información de 4 muestras para el año 1981 y 4 para el año 2007 de Carranza-Edwards *et al.* (2015), y se analizaron 179 muestras de sedimento que fueron secadas a temperatura ambiental; posteriormente se realizó el análisis granulométrico empleando la técnica de análisis granulométrico por tamizado utilizando diferentes aperturas de malla.

Con los valores de la fracción retenida, en gramos, de cada muestra, se elaboró una base de datos que permitiera el manejo de la información.

Tabla 1. Muestras recolectadas en cada zona de estudio.

Fecha	Zona	Coordenadas		Total
		UTM X (m)	UTM Y (m)	
31/03/2012	Playa Norte	621428.79	2063021.12	3
21/07/2015	Sabancuy	691005.74	2101231.69	28
06/12/2017	Isla Aguada	658322.00	2078422.00	22
08/12/2017	Nuevo Campechito	556756.00	2062395.001	18
07/12/2017	Playa Norte	621336.7	2062999.43	39
30/11/2017	Sabancuy	691678.90	2101688.04	69

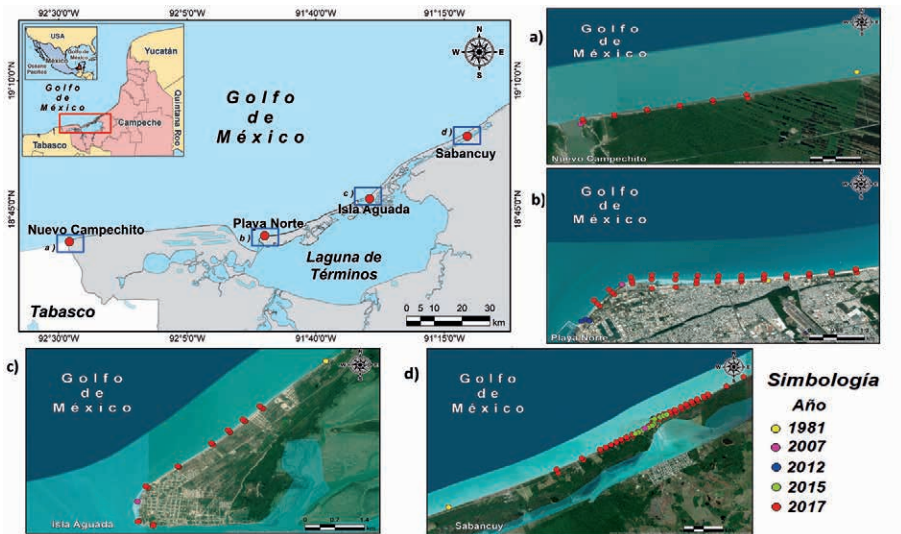


Figura 2. Ubicación de las muestras recolectadas en cada zona para los diferentes años en análisis.
a) Nuevo Campechito, b) Playa Norte, c) Isla Aguada y d) Sabancuy.

Para estimar la distribución del tamaño de sedimento y valores estadísticos se empleó el programa SANDY© Ruiz-Martínez *et al.* (2016) para calcular los parámetros del sedimento, ya que considera tamaños de sedimento y roca que van desde grandes rocas hasta arena muy fina.

Aquí se calculan los valores de tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$), desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma I\phi$), asimetría gráfica inclusiva (SkI), curtosis gráfica (KG) y

parámetros discriminantes ($Y1$, $Y2$, $Y3$, y $Y4$). Los parámetros estadísticos sirven de mecanismo para identificar el origen de los sedimentos o ambientes sedimentarios; de igual forma son una herramienta para identificar si existe una fuente de sedimento que prevalezca en cantidad con respecto a otras o si todas las fuentes tienen sedimentos con características similares (Folk y Ward, 1957; Selley, 2000).

Los parámetros estadísticos de cada muestra se calcularon con enfoques aritméticos, geométricos y logarítmicos, así como el método de momentos (Krumbein y Pettijohn, 1938); se empleó la escala de Folk y Ward (1957) para la clasificación, asimetría y curtosis. Basado en el diámetro medio

de las partículas se clasificó los sedimentos utilizando la escala Wentworth (1922). Por último, con base en los parámetros estadísticos de la distribución de los tamaños de arena, se calculó los parámetros discriminantes para identificar los ambientes de depósito, como lo sugiere Sahu (1964).

Resultados

Para establecer el grado de similitud entre las muestras y su comportamiento a lo largo del tiempo y debido a las características geomorfológicas observadas a lo largo de las playas donde se recolectaron los sedimentos para cada zona se calcularon los estadísticos y estos valores se promediaron a fin de obtener un valor representativo para cada zona. A continuación, se presenta una breve síntesis de los resultados para cada uno de los parámetros estadísticos.

Media

Es el diámetro que representa el centro de gravedad de la distribución de frecuencias (Inman, 1952) y nos señala el modo y la distancia de transporte, cuanto más fino es el tamaño, mayor distancia de transporte; cuanto más grueso el sedimento, condiciones de alta energía en la depositación. Para el periodo 1981-2017, es la zona de Nuevo Campechito la que presenta menor variación conservando arena fina; las zonas restantes se caracterizan por un cambio de arena fina a gruesa (1981- 2007) y de gruesa a fina (2007-2017). Tomando como base el año 1981, en 2007, en las zonas de Playa Norte, Isla Aguada y Sabancuy hubo un incremento en el tamaño medio del sedimento pasando de arena fina a arena

media (Playa Norte, de 2.11 a 1.72) y de arena media a arena gruesa (Isla Aguada, de 1.94 a 0.70 y Sabancuy, de 1.54 a 0.74), lo que se sugiere un incremento en la energía del oleaje, que ha facilitado el transporte de sedimentos finos, dejando solamente sedimentos medios y gruesos. Para el año 2012 en Playa Norte se modificó el tamaño de sedimento drásticamente pasando de arena media a arena fina; lo que implicaría una acreción en la zona, debido a la reducción en la energía del transporte y que se ubica adyacente a una zona urbana, permitiendo la depositación de los sedimentos. Finalmente, para el año 2017 hay un incremento notable en el tamaño del sedimento en Playa Norte pasando de 2.67 a 1.10 (arena fina a arena media), caso contrario se presentó en Sabancuy donde el sedimento muestreado se clasificó como arena media. Nuevo Campechito es una zona que presenta poca variación en el tamaño del sedimento, Isla Aguada presentó un incremento en el tamaño de sedimento, Sabancuy pasó de tener arena media a arena gruesa, pero presentó una aparente tendencia de recuperación hacia las arenas medias y Playa Norte es la zona con más variabilidad en el tamaño del sedimento (figura 3a).

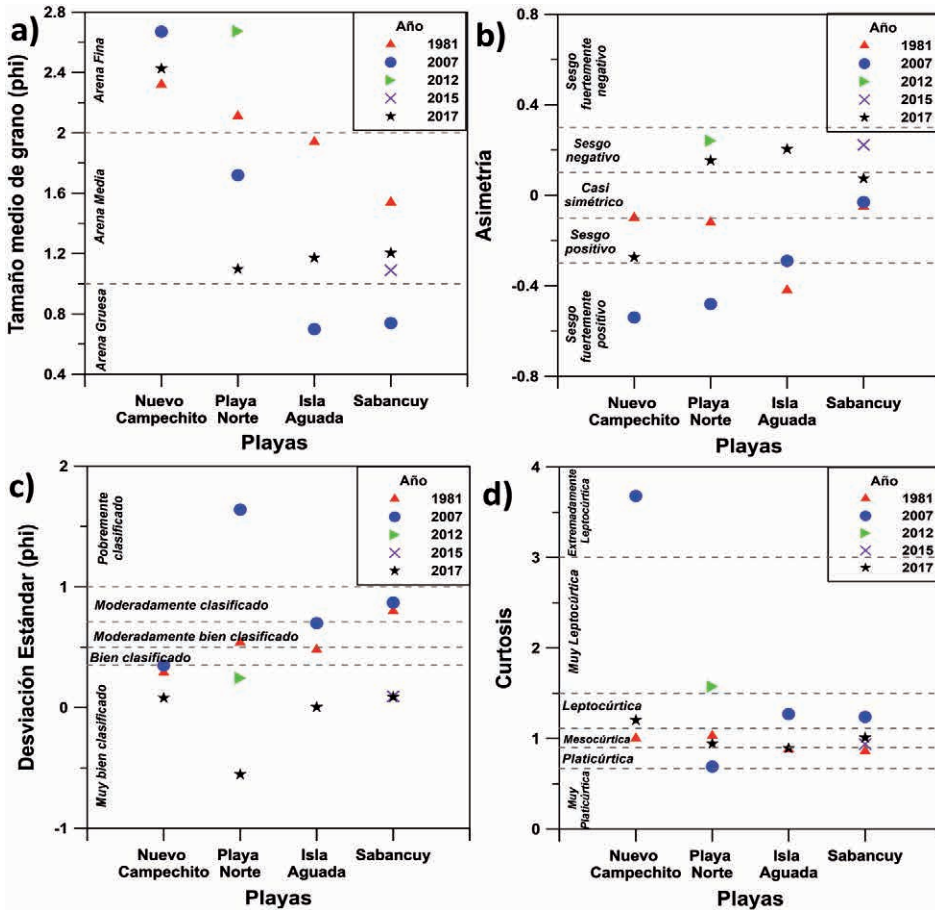


Figura 3. Gráficos de dispersión que muestran los valores de: a) Tamaño medio de grano, b) Asimetría, c) Desviación estándar y d) Curtosis.

Asimetría

La asimetría mide la falta de normalidad de la función de distribución; es un indicador de la predominancia de material grueso (asimetría negativa) o fino (asimetría positiva) en la muestra analizada y tiene correlación con la intensidad y duración del agente depositante; específicamente y de forma general en Campeche implica observar una playa ancha (material fino) con pendiente suave o angosta (material grueso) con pendiente pronunciada. De 1981 a 2007 la mayoría de las zonas presentan

una predominancia hacia el material grueso sugiriendo un proceso erosivo debido a agentes como el oleaje; es a partir del 2012 que la tendencia cambia hacia una asimetría positiva (figura 3b), sugiriendo una recuperación de las playas debido a que estas zonas sirven de trampa de sedimentos para los sedimentos finos.

Clasificación (desviación estándar)

Es una medida del grado de uniformidad o clasificación de las partículas del sedimen-

to, nos indica las condiciones y procesos de mezclado de los sedimentos; una mala clasificación se explica como resultado de energía altamente variable, condiciones turbulentas o movimiento del sedimento en cualquier dirección. La desviación estándar es un dato importante a la hora de definir la procedencia del sedimento; ya que ayudan a inferir el transporte y la roca fuente. La mayor parte de las muestras estudiadas se ubican en el grupo de bien clasificados; siendo las de 2017 las que mejor clasificación presentan (figura 3c).

Curtosis

Describe la relación entre la dispersión promedio en las colas de distribución y la desviación estándar, representa la medida cualitativa de la parte del sedimento ya clasificada en otro lugar en un entorno de alta energía y luego transportada a diferentes entornos de baja energía, por lo que valores extremadamente altos o bajos implica que el sedimento logró su clasificación en otro lugar con entornos de alta energía. En las zonas de muestreo, la mayoría de las muestras presentan una tendencia de mesocúrtica a leptocúrtica lo que implica ambientes con energía constante y cuya clasificación de sedimentos se originó en la zona. Sólo en 2007 la zona de Nuevo Campechito presentó una tendencia extremadamente leptocúrtica y en el mismo año, Playa Norte presenta una tendencia contraria, sedimento Platicúrtico con tendencia a Muy Platicúrtico.

Gráficos bivariados de los parámetros estadísticos

Los gráficos siguientes relacionan los parámetros estadísticos anteriores con ambientes de depositación. La figura 4a muestra la relación entre el tamaño medio del grano y la desviación estándar; en donde los se-

dimentos tienen predominancia de arena media hacia fina y muy bien clasificada. En el año 2007 los sedimentos tuvieron una variación entre arena gruesa y fina pobremente graduada. La tendencia general revela que los sedimentos son transportados y seleccionados por el oleaje y las corrientes litorales.

La figura 4b muestra la relación entre la asimetría y el tamaño medio de la arena, indicando que, en la distribución del tamaño de las partículas, hay una clara tendencia del tamaño de las partículas de medias a finas, y la clasificación del sesgo indica una ligera tendencia a la simetría.

La figura 4c presenta la relación entre la Curtosis y el tamaño medio de arena, se observa que los sedimentos de 1981 y 2017 se clasifican de mesocúrticos a Platicúrtico lo que indica que son sedimentos con edad mediana.

La figura 4d presenta la relación entre la Desviación estándar y la Asimetría y revela que las partículas son heterogéneas, presentando mucha variación, lo que indicaría ambientes muy dinámicos y cambiantes.

Determinación de los mecanismos y ambientes de sedimentación

Se realizó el análisis de la función discriminante propuesto por Sahu (1964) donde, con base en los parámetros estadísticos de la distribución del tamaño del sedimento y la aplicación de ecuaciones Y1, Y2 y Y3, se infieren los ambientes de depositación a través de la interpretación de las variaciones de energía y cómo el sedimento fluye sobre las superficies (Ruiz-Martínez *et al.*, 2016). La figura 5 es útil para establecer los procesos por los cuales se almacenan los sedimentos, entre ellos suspensión, rodamiento, arrastre; para la diferenciación

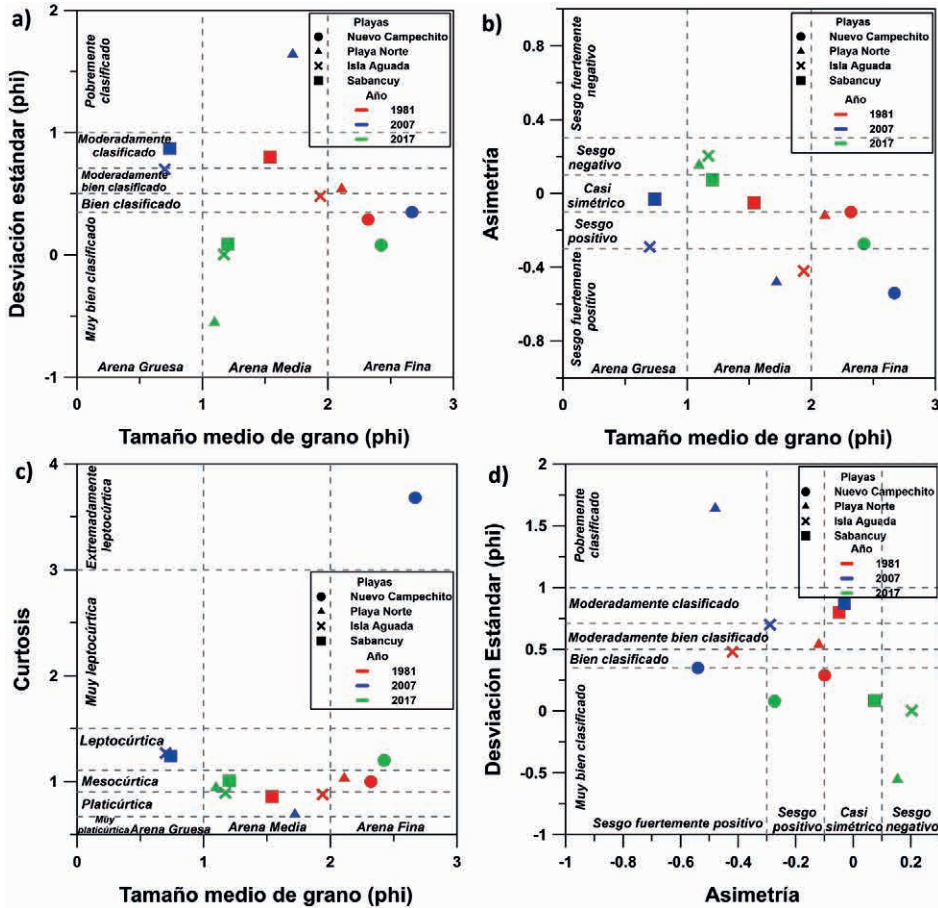


Figura 4. Gráficos de dispersión que muestra la relación entre: a) tamaño medio de grano vs desviación estándar, b) tamaño medio de grano vs asimetría, c) tamaño medio de grano vs curtosis y d) asimetría vs desviación estándar.

entre procesos eólicos y de playa se emplea la función Y1, para discriminar entre ambiente de playa y marinos someros agitados se usa Y2 y para distinguir entre ambientes fluviales y marinos someros es útil la función Y3 ; la figura 5a muestra la relevancia de los procesos costeros en la sedimentación de las partículas, sólo en la zona de Nuevo Campechito hay una relevancia del viento en la depositación de los sedimentos, que se hace evidente por el tamaño fino del sedimento. En la Figura 5b se analiza si las arenas corresponden a un entorno flu-

vial o marino; se observa que el ambiente de depositación predominante es marino y los procesos son de alta energía, sin embargo, para el año 2017 se observa que las zonas de Playa Norte, Isla Aguada y Sabancuy recibieron aporte de sedimentos terrígenos, que puede ser atribuido a un incremento en los cambios de uso de suelo y prácticas inadecuadas de cultivo agrícola que aceleran la erosión de suelo en las cuencas de drenaje; ya que actualmente existen alrededor de 120 mil hectáreas de manglar (Graniel Herrera, 2019) en comparación con las

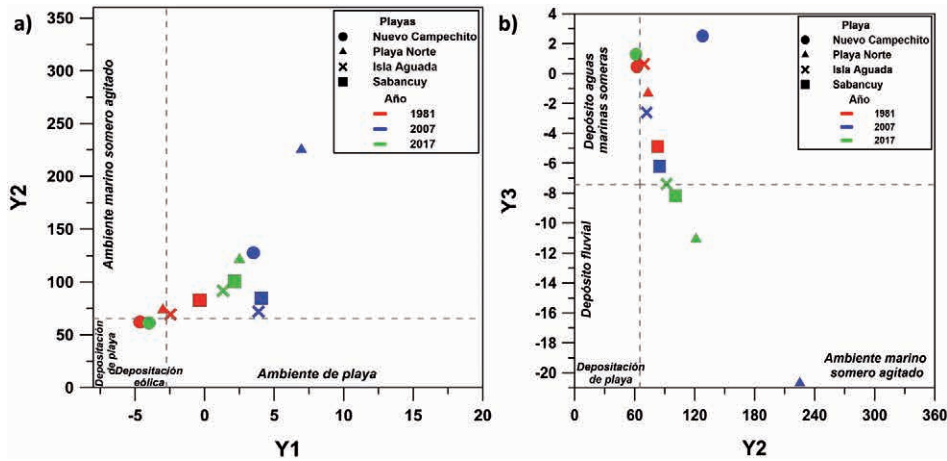


Figura 5. Comportamiento de las funciones discriminantes para establecer los ambientes sedimentarios.

179 754 ha que existían a fines de los 70 (Mas y Zetina, 2002), esta perturbación se debe principalmente al crecimiento urbano y la tala, ambas actividades ilícitas de acuerdo a lo reportado por la semarnat en 2019 (Reyez, 2019). Las altas tasas de deforestación desde las zonas altas de la cuenca hasta el litoral se relacionan con la erosión

del suelo, que han tenido como consecuencia un mayor arrastre de sedimentos terrígenos hacia la laguna, pudiendo impactar en la reducción del intercambio de agua entre los esteros, afectaciones de supervivencia de los manglares y transformaciones ambientales (Llinas-Gutiérrez *et al.*, 1982).

Discusión

La información enfocada en las características sedimentarias de una zona costera permite entre otras cosas:

- Definir los procesos de transporte de los sedimentos empleando, por ejemplo, los criterios de Sunamura y Horikawa (1971) los cuales señalan que la dirección del transporte litoral puede obtenerse usando variaciones en el tamaño y la dispersión del sedimento y; su relación con las actividades humanas, que permitan optimizar la selección de sitios adecuados para el desarrollo, inversión

y establecer responsabilidades ambientales. A manera de ejemplo se presenta en la figura 6 una aproximación del patrón de transporte sedimentario de Sabancuy inferido a partir del tamaño gráfico promedio del sedimento para los años 2015 (flecha verde) y 2017 (flecha roja), la dirección de predominancia es noreste a suroeste; sin embargo, en la zona adyacente a la boca del estero y en los puntos con estructuras como tetrápodos se presenta una variación en la dirección de sedimentos origi-

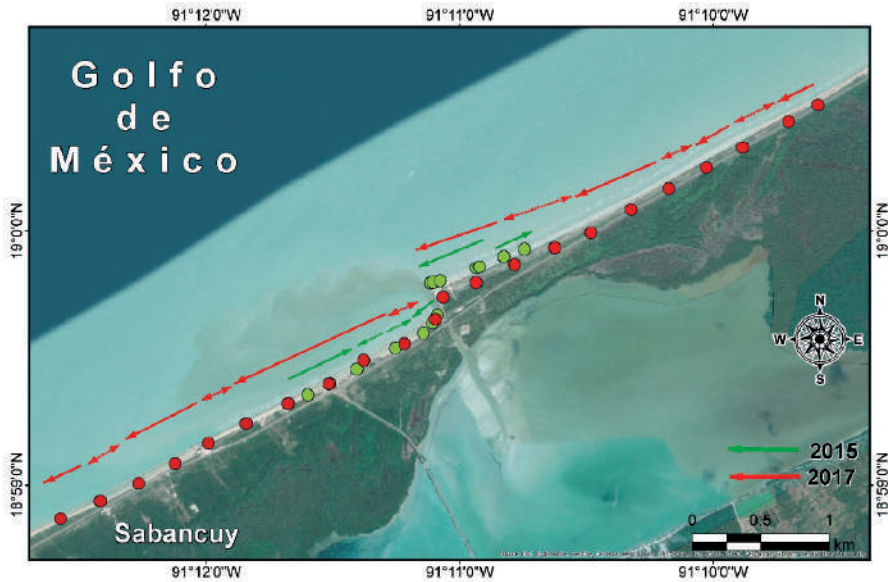


Figura 6. Patrones de transporte sedimentario en Sabancuy para 2015 y 2017.

nando un incremento en la erosión de esos puntos. Las actividades antrópicas en Sabancuy como el desazolve, la colocación y rehabilitación de escolleras, la construcción de rompeolas y la colocación de tetrápodos han modificado el flujo de sedimentos y con ello la variación en el tamaño medio del sedimento; estas modificaciones incrementan la vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por lo que los programas de conservación y restauración de playa deben incluir la variación sedimentológica.

- Identificar la dinámica de una zona para la delimitación de áreas en riesgo de erosión costera para escenarios futuros, priorización de medidas de mitigación y control del desarrollo urbano; tal es el caso de Playa Norte donde la acreción de la playa se ha empleado históricamente como banco de préstamo de material, actividad no recomendable toda

vez que se extrae material originando un déficit de sedimento en el sistema; y recientemente el desarrollo urbano la ha destinado para uso lúdico, el cual debe estar limitado por la preservación de las condiciones naturales de la duna; en el caso de específico de Playa Norte, la variabilidad en el tamaño de sedimento se atribuye a las actividades antrópicas en la zona, por lo que se enfatiza en la urgencia de regular las actividades antrópicas enfocadas a la extracción de arena, tránsito de vehículos y construcción de infraestructura sobre la duna. Situación similar se presenta en Isla Aguada, donde la variación en el tamaño del sedimento obedece a las actividades de recreación que se han incrementado, afectando la anidación de tortugas urgiendo la necesidad de conservación de la zona.

- Evaluar el costo-beneficio de intervenciones costeras que incluya un análisis

de los servicios ecosistémicos y aspectos sociales, que permitan seleccionar el escenario más favorable de conservación; por ejemplo, Nuevo Campechito donde la erosión ha incrementado la pérdida de extensiones de mangle surge la necesidad de intervenciones de restauración que involucren acciones de ingeniería suave que tomen como base las características sedimentológicas de la zona (tamaño medio, desviación estándar, entre otras).

Por otro lado, las medidas de manejo enfocadas en la erosión costera se han diseñado desde una perspectiva local, ignorando la influencia de agentes forzantes no locales y se han ignorado los procesos de transporte de sedimentos dentro del sistema costero “a gran escala” (Salman *et al.*, 2004b). Como consecuencia se han agravado localmente los problemas de erosión costera y se han provocado nuevos problemas en otros lugares.

En aquellas zonas en las que se identifique un balance sedimentario negativo surge la urgencia de restaurar el balance, para ello se requiere identificar las fuentes de sedimento que presente características similares al de la zona. Análisis como el aquí presentado son una primera aproximación para determinar la compatibilidad del sedimento local con el de banco de material a partir del diámetro medio (D_{50}) y la desviación estándar. Sin olvidar que los cambios en las características del tamaño y distribución del sedimento pueden responder a ciclos de erosión y recuperación (Boak y Turner, 2005; Komar y Enfield, 1987) que incluyen respuestas a tormentas en el corto plazo, fluctuaciones estacionales importantes en respuesta a condiciones cambiantes, variaciones interanuales en respuesta al suministro de sedimento y cambios más

lentos en la intensidad de tormentas o en el nivel del mar (Eliot, 2016). La naturaleza de estas variaciones es única en cada playa, dependiendo de las condiciones de forzamiento, suministro de sedimentos y morfología.

Para el desarrollo de un marco de gestión adaptable que derive en un Plan de Manejo de Sedimentos Costeros, capaz de identificar los factores desencadenantes de cambio en el contexto de cambio climático se requiere un monitoreo permanente, ya que es la forma para inferir cambios futuros mediante un modelo conceptual y no necesariamente uno numérico; es a través del análisis de los resultados obtenidos que se puede identificar en primera instancia si los cambios son a corto o largo plazo (decadales), lo que conlleva en términos de planificación, definir si el monitoreo debe realizarse por tendencia a monitoreo por peligro (mayor frecuencia de monitoreo) o a mayor probabilidad de intervención y distribución de sedimentos (mayor cobertura espacial de monitoreo). Basado en lo anterior y de acuerdo con las necesidades en cada zona; en Sabancuy debe realizarse un monitoreo que combine el monitoreo por peligro con el de probabilidad de intervención; en Isla Aguada debe realizarse un monitoreo a mayor probabilidad de intervención; en Playa Norte se debe establecer un monitoreo por peligro y en Nuevo Campechito debe establecerse un monitoreo a mayor probabilidad de intervención.

El monitoreo sistemático debe ser un requisito indispensable para la protección costera, algunos ejemplos de fracaso debido a la falta de monitoreo son Vale do Lobo (Portugal), delta del Ebro (España) y Sitges (España) todos ellos relacionados a deficiencias en rellenos de playa (Salman *et al.*, 2004). En las playas analizadas de

Campeche, las variaciones en el tamaño del sedimento se deben principalmente a dos factores: el impacto de fenómenos naturales extremos, principalmente frentes fríos o “Nortes” que incrementan las condiciones energéticas del sistema, transportan sedimento de un entorno de alta energía a otro a través de condiciones turbulentas en un desplazamiento que puede ser en cualquier dirección y por su duración, los procesos de mezclado generan una mala clasificación de los sedimentos y; factores antrópicos que, modifican la hidrodinámica de la zona y la línea de costa debido a la colocación y desarrollo de infraestructura como, la ampliación del puerto Ciudad del Carmen en Playa Norte; la colocación de espigones y escolleras en Sabancuy que impide el libre tránsito de sedimentos y el crecimiento de la mancha urbana en la línea costera en Isla

Aguada. Debido a la variabilidad climática se proyecta un incremento en las condiciones energéticas de los fenómenos naturales extremos (OMM, 2017), lo que generaría que en las playas que actualmente son de sedimentos finos predominen sedimentos gruesos y se modifiquen las condiciones topográficas de la playa, así como la presencia de sedimentos finos en zonas en las que antes no existían.

El aporte de sedimentos terrígenos para el análisis de 2017 en las playas de Playa Norte, Isla Aguada y Sabancuy principalmente se debe al aporte sedimentario procedente de la descarga de los ríos que desembocan en la Laguna de Términos, asociados a un mayor arrastre de sedimentos de suelos erosionados por la deforestación en la zona inducidos por las temporadas agrícolas.

Conclusiones

El análisis presentado es una primera aproximación para entender el comportamiento de los sedimentos de las playas del sur del estado de Campeche, los resultados han permitido identificar la dominancia del tamaño de sedimento (fino o grueso) y su variación en el tiempo, así mismo han servido para inferir la dirección del transporte sedimentario y los posibles ambientes de sedimentación.

Las playas de Nuevo Campechito, Isla Aguada y Sabancuy presentan un comportamiento definido. Nuevo Campechito aparenta una estabilidad, mientras que Playa Norte es la zona con mayor variabilidad en el tamaño medio de grano concluyendo que es una playa inestable y muy dinámica.

Los sedimentos tienen un origen marino en predominancia, recibiendo en años recientes aporte de sedimentos terrígenos. En general en las playas predomina la arena media hacia finos y los sedimentos se encuentran muy bien clasificados. Las variaciones entre los diferentes sitios muestreados pueden deberse a la diversidad en la fuente del sedimento, geomorfología costera y a los ambientes de depositación - transporte.

El registro histórico y su posterior cotejo con datos de clima marítimo permitirá en un futuro inferir el comportamiento del tamaño del grano del sedimento. Este tipo de análisis son de gran utilidad y eficaces ya que generan información de utilidad para establecer planes de manejo costero.

Finalmente debemos reconocer que:

- Se requiere generar conciencia de la necesidad y ventajas a largo plazo de adoptar una perspectiva regional e histórica del análisis de sedimentos.
- Se requiere un monitoreo sistemático constante del sedimento y la hidrodinámica costera.
- Los registros históricos y el análisis de estos permiten identificar patrones a gran escala y proporcionan una visión general de la dinámica de los sedimentos en una región.
- El análisis de los parámetros texturales y ambientes de depositación proporcionan una base valiosa para la planificación y gestión a nivel local y regional.
- Los resultados permiten no sólo identificar brechas en el conocimiento de la zona, sino reforzar el análisis de otros parámetros y su relación con la dinámica marina.
- Los resultados derivados del análisis de sedimentos deberán considerarse en los planes de desarrollo costero, ya que así se tendrá un panorama base de la dinámica de la costa.

Literatura citada

- Boak, E. H., e I.L. Turner, 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 688–703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez-Estrada, y R. Rodríguez Torres, 1975. Unidades morfotectónicas continentales de la costa mexicanas. *Anales Del Centro de Ciencias Del Mar y Limnología*, 2: 81-88.
- Carranza-Edwards, A., A.Z. Márquez-García, C.I. Tapia-Gonzalez, L. Rosales-Hoz, y M.A. Alatorre-Mendieta, 2015. Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe noroeste. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(1): 21–43. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94339885003>
- Cuevas, E., Liceaga-Correa, M. Á., Rincón-Sandoval, L.A. Mexicano-Cíntora, G. Arellano-Méndez, J.I. Euán-Ávila, ... S. Mulsow, 2013. Evaluación morfológica y sedimentológica de campos de dunas submarinas en la costa de Yucatán, México. *Ciencias Marinas*, 39: 83–99.
- Eliot, M., 2016. Coastal sediments, beaches and other soft shores. CoastAdapt Information Manual 8. Australian: National Climate Change Adaptation Research Facility 2016.
- Folk, R. L., y W.C. Ward, 1957. Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1): 3–26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Folki, R.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill, Austin, Texas, 182 pp.
- García, E., 1973. Clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.
- González Solís, A., y D. Torruco Gómez, 2001. La fauna béntica del Estero de Sabancuy, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 49(1): 31-45.
- Graniel Herrera, G., 2019. Deben restaurarse más de 2 mil ha de mangle: Conanp Campeche. Retrieved August 1, 2019, from La Jornada Maya website: <https://www.lajornadamaya.mx/2019-04-23/Deben-restaurarse-mas-de-2-mil-ha-de-mangle--Conanp-Campeche>
- Inman, D. L., 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 22(3): 125–145. <https://doi.org/10.1306/D42694DB-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Komar, P. D., y D.B. Enfield, 1987. Short-Term Sea-Level Changes and Coastal Erosion. *Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution*, 41: 17–27. <https://doi.org/10.2110/pec.87.41.0017>

- Krumbein, W. C., y F.J. Pettijohn, 1938. *Manual of Sedimentary Petrology*. New York, USA: Appleton - Century and Crofts.
- Llinas-Gutiérrez, J., Díaz, A., y E. Espinoza, 1982. Crustacean diversity related to substrate in two coastal lagoons in Baja California Sur, México. In A. San Pietro (Ed.), *Biosaline Research: A Look to the Future*, Vol. 23, Mem II Taller Inter Invest Biosal, La Paz, BCS, 1980 (pp. 515–520). New York: Plenum Press.
- Mas, J. F., y R. Zetina, 2002. Actualización del mapa de uso de suelo, vegetación y hábitat críticos y elaboración de una base cartográfica digital del Área Protegida Laguna de Términos. Universidad Autónoma de Campeche.
- Merlotto, A., G.R. Bértola, y M.C. Piccolo, 2013. Seasonal morphodynamic classification of beaches in Necochea municipality, Buenos Aires Province, Argentina. *Ciencias Marinas*, 39:331–347.
- OMM, 2017. Declaración sobre el estado del clima mundial en 2016, OMM-N°1189. Genève, Suiza, 24 p.
- Reyez, J., 201). Semarnat descubre caza furtiva y tala ilegal en Áreas Naturales Protegidas. Retrieved July 13, 2019, from Contralínea.com.mx website: <https://www.contralinea.com.mx/archivo-revista/2019/07/13/semarnat-descubre-caza-furtiva-y-tala-ilegal-en-areas-naturales-protegidas/>
- Rivas Rodríguez, L., H. Salazar Salazar, Y. Rabeiro, L. Caré, F. Hernández, y C.M. Peón Caso, 2016. Resultados del monitoreo de la playa La Puntilla durante el año 2014. *Revista Investigaciones Marinas*, 36(1): 113-134.
- Ruiz-Martínez, G., G.D. Rivillas-Ospina, I. Mariño-Tapia, y G. Posada-Vanegas, 2016. SANDY: A Matlab tool to estimate the sediment size distribution from a sieve analysis. *Computers & Geosciences*, 92: 104-116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.04.010>
- Sahu, B. K., 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 34(1), 73–83. <https://doi.org/10.1306/74D70FCE-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Salman, A., S. Lombardo, y P. Doody, 2004. PART IV – A guide to coastal erosion management practices in Europe: Lessons Learned. In *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability*. EUCC.
- Selley, R.C., 2000. *Applied Sedimentology*. Academic Press, San Diego, California, 523 p.
- Sunamura, T., y K. Horikawa, 1971. Predominant Direction of Littoral Transport Along Kujyukuri Beach, Japan. *Coastal Engineering in Japan*, 14(1): 107–117. <https://doi.org/10.1080/05785634.1971.11924131>
- Villalobos-Zapata, G. J., & Mendoza-Vega, J. (2010). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El colegio de la Frontera Sur.
- Wentworth, C. K., 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30(5): 377-392. <https://doi.org/10.1086/622910>

Evaluación de inundación costera debido al incremento del nivel del mar en Ensenada, Baja California, México

V. Fernández y R. Canul

Resumen

El presente capítulo tiene como objetivo principal, abordar el tema de inundación costera como consecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos y el incremento del nivel del mar producto del cambio climático; tomando como sitio de estudio la zona costera de la bahía de Ensenada, Baja California, México. Mediante análisis de clima marítimo, generación de datos topográficos y batimétricos, y modelación numérica; se establecen zonas propensas a inundación en la bahía de Ensenada. Se modela numéricamente un escenario en donde eventos hidrometeorológicos extre-

mos se combinan con una proyección de incremento del nivel del mar de 2 m, ambos proyectados para finales del siglo XXI. Esta proyección se deriva de uno de los dos escenarios de incremento establecidos dentro del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) para Baja California. Se hace una comparación entre las condiciones actuales y los resultados de la variabilidad del nivel del mar bajo el escenario proyectado. Los resultados muestran gran afectación a los puertos de El Sauzal y Ensenada, así como a la marina perteneciente al Hotel Coral y Marina; playas de uso recreativo como Playa Hermosa y La Joyita; asentamientos humanos aledaños a la boca del Estero de Punta Banda y sobre la barra de arena misma; así como la zona agrícola del Valle de Maneadero; en donde la superficie de elevación del nivel del mar predominante es de 3 m.

Palabras clave: cambio climático, Ensenada, oleaje, inundación costera, erosión.

Introducción

En términos estadísticos, las inundaciones costeras son de los riesgos naturales más comunes y mayormente distribuidos en el mundo para la vida y la propiedad; debido a que las costas son afectadas mayormente por fenómenos de origen hidrometeorológico, tales como el oleaje, el viento y la marea de tormenta durante eventos extremos, y el inminente incremento del nivel del mar producto del cambio climático (Nicholls *et al.*, 1999; Balica, 2012; Dassanayake *et al.*, 2012; Nicholls *et al.*, 2015).

En la última década, el interés por evaluar inundación en zonas costeras ha aumentado de manera significativa, ya que sirve de base para la formulación de estándares de diseño para infraestructura, manejo costero, planes de contingencia y manejo de emergencias, e indirectamente para el turismo. La evaluación de inundación en zonas costeras es un problema complejo, debido a la gran variabilidad espacial de la dinámica marina, la gama de variables que participan y su estado cambiante (Balica *et al.*, 2012; Mcinnes *et al.*, 2003; Nicholls y Lowe, 2004; Villatoro *et al.*, 2014).

La implementación de herramientas como los modelos numéricos hidrodinámicos, es una manera efectiva que se ha aplicado en muchos casos para conocer el comportamiento de peligros potenciales sobre la franja costera (Bates *et al.*, 2005; Gallien *et al.*, 2014; Seenath, 2015; Gallien, 2016; Seenath *et al.*, 2016) ya que toman en cuenta una serie de factores físicos que influyen potencialmente en la hidrodinámica (fricción, fuerza de Coriolis, modificaciones del oleaje, entre otros) y en la mancha de inundación resultante, proporcionando resultados precisos que permiten establecer zonas propensas a inundación y determinar los posibles efectos adversos sobre la costa (Kantha y Clayson, 2000; Chen *et al.*, 2011; Gallien *et al.*, 2014).

Identificar y establecer las zonas propensas a inundación debido a eventos extremos aunados al incremento del nivel del mar es primordial para respaldar la toma de decisiones en el manejo costero; en este manejo se requiere hacer una planeación basada en el conocimiento compartido que adopte una perspectiva transversal y a largo plazo.

El cambio climático y la zona costera

El incremento del nivel del mar

La adaptación ante la subida del nivel del mar es esencial, debe considerar la respuesta a los incrementos del nivel medio y extremo del mar, como a otros factores climáticos. Considerando la población ya numerosa y el rápido crecimiento sobre la zona costera, la adaptación autónoma por sí sola no será capaz de enfrentarse al aumento del nivel del mar (CMNUCC, sf).

El incremento del nivel del mar tiene una amplia gama de efectos sobre los procesos costeros (oleaje, mareas, corrientes) que operan en torno a él, en donde dentro de los efectos inmediatos de esta subida están las inundaciones costeras, las cuales cada vez serán más intensas y frecuentes, lo cual se suma a la intensa ocupación de la costa por la población que se desplaza a esta zona generando mayor presión. Los efectos a largo plazo incluyen, cambios en la línea de costa, particularmente por erosión de playas y la disminución de marismas al ajustarse la costa a las nuevas condiciones medioambientales. A su vez, estos efectos traen impactos socioeconómicos potenciales directos e indirectos a las zonas costeras afectadas (Nicholls, 2004), como son la pérdida de infraestructura urbana y de comunicación situada en primera línea de costa, el aumento en la carga e impacto por parte del oleaje sobre las estructuras de protección costera, tales como rompeolas situados en puertos, posibles cambios adversos en la operatividad portuaria que trae como consecuencia pérdidas económicas, efectos relacionados con la pérdida de turismo, erosión costera y pérdida de hábitats costeros (Nicholls, *et al.*, 2015).

Por tanto, es importante mencionar que la costa seguirá viéndose afectada por even-

tos extremos, como son mareas y oleaje extraordinario, marea de tormenta extrema, y que estos pueden volverse cada vez más graves como resultado del cambio climático (CMNUCC, sf).

Para salvaguardar el desarrollo en áreas afectadas por la variabilidad y el cambio climático, es necesario gestionar el riesgo asociado a los peligros o amenazas climáticas. La variabilidad del sistema climático genera eventos extremos como inundaciones asociadas a fuertes marejadas, las cuales se derivan de las alteraciones de los promedios climáticos regionales producto del calentamiento global, y van acompañadas de cambios en la frecuencia e intensidad de estos eventos extremos. La gestión de los peligros asociados al clima constituye, por lo tanto, un factor clave para el desarrollo, debido a que la identificación y reducción de estas amenazas puede ayudar a proteger a las personas, sus medios de vida y sus bienes. De tal manera que la evaluación de las amenazas climáticas, la vulnerabilidad y la exposición, es fundamental para el desarrollo sostenible y eficaz de las intervenciones de gestión del riesgo (PNUD, 2010).

Incremento del nivel del mar en Ensenada

De acuerdo con el Informe de Evaluación presentado por el Panel Intergubernamental ante el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (2007), la subida del nivel del mar es inequívoca e inminente y las mediciones por altimetría satelital proporcionan una evidencia sin ambigüedades sobre la variabilidad regional en los cambios del nivel del mar. El ascenso del nivel del mar provoca, principalmente:

- Inundación en zonas costeras, en el supuesto que no se tomen medidas adecuadas.
- Incremento de la erosión y como consecuencia la desaparición de playas, islas de barrera y partes frontales de deltas.
- Sumersión de humedales y esteros.

Ante esto, varios estados de México, entre ellos Baja California, elaboraron su Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC). En el PEACC-BC, se hace mención sobre dos escenarios de incremento del nivel del mar proyectado para finales del siglo XXI en la región. Dichos escenarios se encuentran entre 1 y 2 m de aumento, debido al deshielo de Groenlandia y en segundo lugar a la expansión térmica de las aguas oceánicas (Herguera y Ortiz, 2009).

Se resalta también que, por la cartografía y aproximación utilizada, los estimados están sujetos a errores entre el 10 % y 15 % y que constituyen solo una identificación de las áreas vulnerables y sólo una primera aproximación de la extensión y alcance de las inundaciones. Además, en este plan no se considera la evaluación de inundación mediante modelos numéricos de alta resolución, lo que abre una oportunidad para realizar el trabajo presentado en este caso de estudio.

Estudios de Inundación en la zona costera de Ensenada

En Ensenada se han realizado estudios de riesgo costero enfocados en propuestas de manejo de la erosión (Peynador y Méndez-Sánchez, 2010) que consideran el balance y el transporte sedimentario (Sánchez *et al.*, 2009); así como estudios de desplazamiento de línea de costa empleando imágenes de satélite (Delgado-González *et al.*, 2005), de variabilidad espacial del oleaje (Martínez-Díaz de León, 2004), y distri-

bución de probabilidad de altura de ola (Martínez-Díaz de León y Coria-Méndez, 1993), por mencionar algunos.

En lo referente a inundación costera los estudios más relevantes que se han realizado son el de Montoya Turrillas y Gómez-Morín Fuentes en 1991, donde evaluaron el riesgo de inundación costera en la bahía de Ensenada debido a la elevación del nivel del mar bajo tres escenarios proyectados de 0.5, 1.0 y 1.5 metros, centrándose en la zona de playa Hermosa hasta la desembocadura del estuario de Punta Banda, encontrando un retroceso de costa de 203.2 m para el año 2100 con un incremento del nivel del mar de 1.5 m.

En 2012 se desarrolló el Atlas de Riesgos Naturales para el municipio de Ensenada por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de Ensenada (IIO). En él se establece que las inundaciones causadas por fenómenos de origen meteorológico son el segundo riesgo que más afecta a las personas y a la infraestructura (UABC y IIO, 2012). Sin embargo, el enfoque es en inundaciones de origen pluvial o fluvial, más no de origen marino.

Otro estudio es el de Carmona en 2013, en donde evaluó el riesgo de inundaciones costeras debido a las variaciones del nivel del mar a través de un marco conceptual integral, su metodología se basa en el modelo “*bathtub*” que no considera aspectos fundamentales, como la variación del relieve y los efectos de la transformación del oleaje durante su propagación a la costa (Fernández *et al.*, 2018).

El estudio más reciente es el publicado por Fernández *et al.* (2018), en donde mediante modelación numérica, evaluaron la inundación costera en la bahía de Ensenada debida a eventos extremos, analizando

las variaciones en el nivel del mar dada la marea de tormenta, condiciones de oleaje y marea astronómica para $T_r = 50$ años. Sin embargo, en ese estudio no se consideran aspectos del incremento del nivel del mar asociado al cambio climático.

Ante la falta de información y la aplicación de técnicas y herramientas diversas, en este caso de estudio se presentan los re-

sultados tras evaluar inundación en la zona costera de Ensenada asociada a eventos extremos de periodo de retorno T_r de 100 años, considerando condiciones de oleaje y viento que representan la acción de una tormenta, así como un escenario de incremento del nivel del mar de 2 m presentado en el PEACC-BC.

Zona de estudio

La ciudad de Ensenada ($31^{\circ} 40' - 31^{\circ} 56' N$ y $116^{\circ} 36' - 116^{\circ} 50' W$), (figura 1) se ubica sobre la costa noroeste de la península de Baja California en la bahía de Todos Santos (BTS) (o Bahía de Ensenada, como común-

mente se le conoce) a 111 km al sur de la frontera México- Estados Unidos.

La ciudad originalmente se construyó sobre planicies costeras y aluviales, en las cuales se asienta gran parte de la mancha

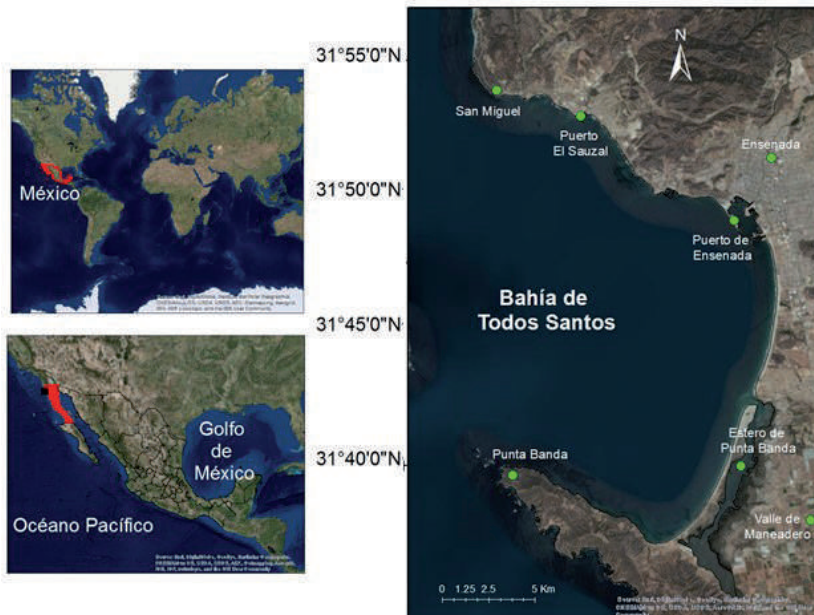


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

urbana actual. Se divide en regiones, siendo la región norte la correspondiente a El Sauzal, la región central al primer cuadro de la ciudad, y la región sur-suroeste al valle de Maneadero, ex-ejido Chapultepec y el estero de Punta Banda. La zona costera norte de la bahía comprende desde San Miguel hasta la curva adyacente al norte del puerto de Ensenada, conocida como El Mosquito, se caracteriza por ser una costa rocosa angosta con presencia de cantiles que alcanzan alturas entre 5 y 8 m, y pequeñas playas de bolsillo (Cruz-Colín y Cupúl Magaña, 1997). Del puerto de Ensenada a la porción norte de la barra del Estero de Punta se extiende una playa arenosa de 14 km de longitud, limitada en su parte posterior por dunas. Esta playa se ve interrumpida por la boca que permite el intercambio de agua entre el mar y el estero de Punta Banda. Siguiendo hacia el sur, se encuentra el estero de Punta Banda, una laguna costera situada a lo largo del margen sureste de la bahía, está catalogado como Sitio de Importancia Internacional para las Aves Acuáticas y se caracteriza por tener un canal en forma de “L” y separarse del mar por una barra arenosa que se extiende desde Punta Banda hacia el noroeste con más de 7 km de longitud. Posee también un Área Natural Protegida conocida como Punta Estero, y varios asentamientos residenciales (imip, sf en Carmona 2013).

En el ámbito socioeconómico se puede destacar que, sobre la línea de costa de El

Sauzal, el uso de suelo es habitacional e industrial, localizándose infraestructura destinada para realizar actividades productivas como la pesca y la maquila, actividades de las que depende la economía local y también influyen a la economía regional. Además, en esta área se ubica la principal vía de conexión hacia el norte del estado, a través de la carretera escénica Tijuana-Ensenada la cual permite el ingreso de turismo, el transporte de productos dentro y fuera de la región y el transporte local. La bahía de Ensenada cuenta con dos puertos, el puerto de Ensenada y el puerto de El Sauzal que forman parte del Sistema Portuario Nacional y son impulsores para el desarrollo de diversas actividades industriales, comerciales, pesqueras y turísticas, en las que se estima la presencia de cuarenta y una empresas generadoras de empleos. Sus campos de influencia comercial se extienden a nivel nacional e internacional, teniendo conexión con sesenta y cuatro puertos de veintiocho países en los cinco continentes, destacando a nivel nacional los puertos de La Paz, Manzanillo, Mazatlán y Lázaro Cárdenas, y a nivel internacional los puertos de San Diego, Long Beach y Los Ángeles, Honolulu, Panamá, Yokohama y Hong Kong; reportando un movimiento portuario en contenedores de 136 719 TEUS (unidad equivalente a 20 pies, por sus siglas en inglés) (IMIP, sf en Carmona, 2013; API Ensenada, sf).

Métodos

Condiciones de viento, oleaje y nivel del mar

Con la finalidad de obtener el estado de mar y las condiciones de viento que caracterizan a la zona de estudio, se utilizaron los resultados de oleaje y viento del modelo WAVEWATCH III (WWIII) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el cual posee datos cada tres horas para una malla que abarca la porción Oeste del Pacífico.

De este modelo fue extraída una serie de tiempo de clima marítimo (altura significativa H_s , periodo pico T_p y dirección de incidencia Dir) y de viento (magnitud y dirección), disponibles para el periodo del 01 de febrero de 2005 al 31 de julio de 2015, de un nodo de malla (31.800084°N, -117.066427°W) situado a 40 km de la costa.

Mediante códigos programados y el uso de software especializado, se obtuvo el régimen de eventos extremos asociados a un periodo de retorno T_r de 100 años, considerando condiciones de oleaje y viento que representan la acción de una tormenta.

Para el forzamiento del incremento del nivel del mar se simuló numéricamente el nivel del mar actual considerando información de los escenarios de emisiones SRES del IPCC para considerar el cambio climático futuro. Para este caso de estudio se considera un incremento del nivel del mar de 2 m bajo el escenario A2, el cual describe un mundo muy heterogéneo basado en la preservación de las identidades locales.

Modelo Topobatimétrico

El modelo topobatimétrico se generó a partir de la unión de datos topográficos y batimétricos mediante herramientas de geoprocésamiento. La información topográfica se obtuvo de datos LIDAR del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con una resolución de terreno de 5 m en la horizontal; la información batimétrica se obtuvo a partir de resultados de cartas náuticas de la Secretaría de Marina (SEMAR).

Modelo numérico

Una manera efectiva que se utiliza en ciencias e ingeniería para evaluar el riesgo de inundación costera es mediante la implementación de modelos numéricos hidrodinámicos. Por lo anterior, y con el objetivo de identificar zonas propensas a inundación en el área de estudio, se simuló numéricamente la variabilidad del nivel del mar considerando dos escenarios: condiciones actuales y condiciones proyectadas para final del siglo XXI (escenario futuro); y así llevar a cabo una comparación entre ambas condiciones.

La simulación numérica se hizo utilizando el modelo Mike 21 FM con sus módulos, hidrodinámico (HD) y oleaje espectral (SW), y como datos de entrada al modelo la topobatimetría generada y los estados de mar y viento para ambos escenarios, los cuales se muestran en la tabla 1. Debido a la complejidad del área y las limitaciones del modelo se empleó una malla flexible con celdas triangulares con tamaños de 5m a 20m (figura 2).

Tabla 1. Estados de mar y viento simulados numéricamente para el escenario actual y el escenario proyectado para fin de siglo.

		Escenario actual	Escenario futuro
Oleaje	Hs (m)	1.7	7
	Dir	290° NW	290° NW
	Tp (s)	13	16
Viento	Dir	290° NW	290° NW
	V (m/s)	4	6
Incremento del nivel del mar (m)		0	2

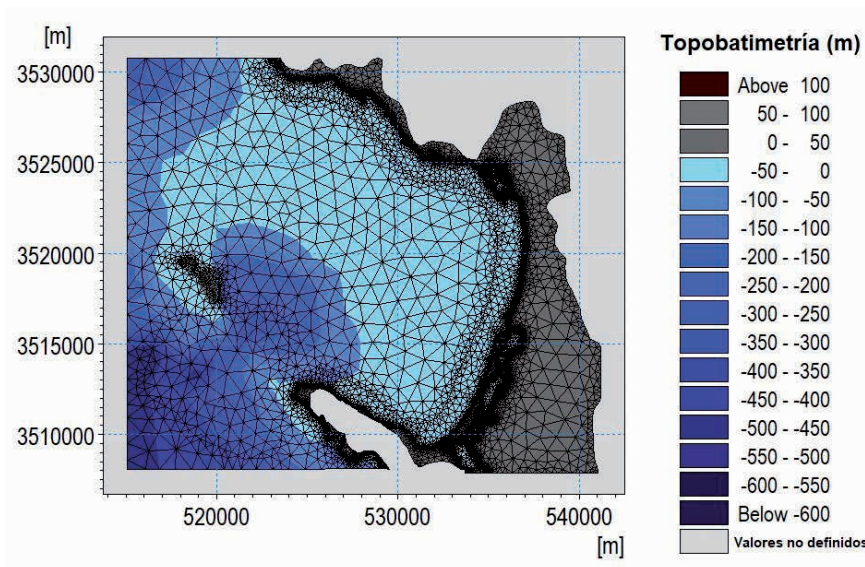


Figura 2. Modelo topobatemétrico y malla de celda triangular. Las celdas mantienen un tamaño de 20 m, a excepción de la zona costera, en donde presentan tamaños de 5 m.

Mapas de inundación costera

Utilizando los resultados de la simulación numérica del nivel del mar para el escenario actual y el escenario proyectado, y mediante herramientas de geoprocésamiento,

se obtuvieron mapas de inundación para la zona de estudio. Los mapas se muestran a manera de comparación para hacer más comprensibles los resultados.

Resultados y discusión

Condiciones hidrodinámicas del escenario actual

Dadas las condiciones topográficas de la bahía, la cual presenta cotas de elevación del terreno de entre 4 y 5 m en la franja costera sur de la bahía y entre 5 y 8 m en la franja costera norte, y las características hidrodinámicas actuales (oleaje, marea y viento); la zona costera de la bahía de Ensenada no se ve afectada por eventos de inundación. Sin embargo, hay que recordar que para este escenario no se considera la existencia de incremento del nivel del mar asociado al cambio climático.

En la figura 3, se presentan las alturas de ola que arriban a la zona de estudio con

dirección de incidencia del noroeste bajo condiciones normales. Se observan valores superiores a 2.4 m en aguas profundas, mientras que en la costa disminuye entre 0.8 m y 1.2 m. Si bien, la dirección de propagación del oleaje entrante en el dominio es de 290° , debido a la configuración del fondo marino se ve modificada; en zonas como el Sauzal y el puerto de Ensenada, el oleaje incide con un ángulo aproximado de 220° , mientras que en la franja arenosa entre el puerto de Ensenada y la boca del estero de Punta Banda incide con 270° . En la zona de las islas de Todos Santos, se puede apreciar el efecto de difracción del oleaje.

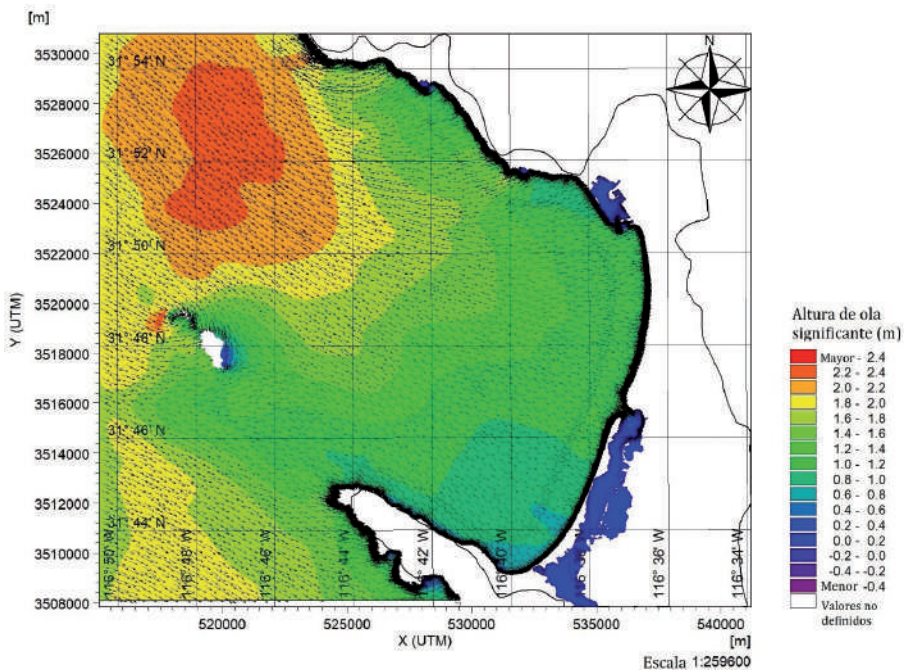


Figura 3. Altura de ola significativa y dirección de aproximación del oleaje en la bahía de Ensenada bajo condiciones actuales.

Condiciones hidrodinámicas del escenario futuro

Para el escenario futuro, las condiciones hidrodinámicas se intensifican debido al incremento del nivel del mar asociado a cambio climático considerado en la simulación numérica y las condiciones de eventos extremos, también incluidas. En aguas profundas, el oleaje incide a la bahía por el noroeste con alturas significantes superior a los 7 m, propagándose hacia la costa modificando su dirección de incidencia por efectos del fondo, arriban con ángulos similares a los descritos en el apartado anterior, pero con alturas superiores que varían entre 2 m y 3 m en la zona sur de la bahía, y 4 m y 6 m en el centro y norte, lo que supone mayor riesgo de inundación para la costa (figura 4).

Comparación entre condiciones actuales y condiciones a futuro: mapas de inundación costera

Dividir el área de estudio en zonas (norte, centro y sur), permite identificar aquella con mayor susceptibilidad a inundación debido al incremento del nivel del mar asociado al cambio climático. En general, bajo el escenario proyectado a futuro, la Bahía de Ensenada se ve significativamente afectada por el arribo del nivel del mar en zonas que actualmente están secas. Sin embargo, hay zonas que se ven mayormente afectadas que otras. Por lo que, los resultados serán presentados considerando la zonificación ya mencionada.

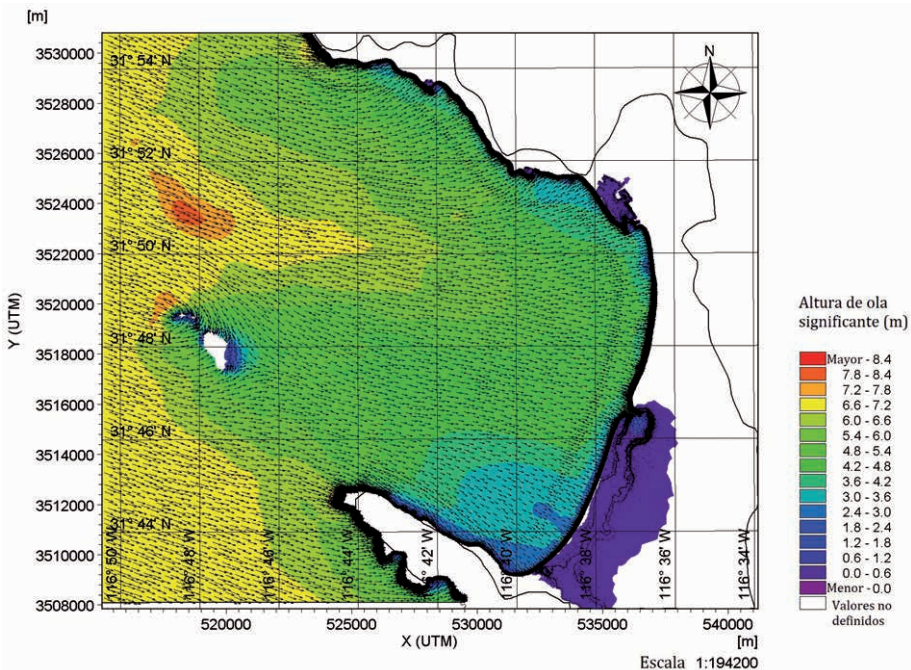


Figura 4. Altura de ola significativa y dirección de aproximación del oleaje en la bahía de Ensenada bajo condiciones proyectadas para final de siglo.

Zona norte

La geomorfología costera de esta zona está dominada por cantiles que varían en altura y composición litológica, lo que se puede observar en las características de las playas de la bahía, ya que estos cantiles aportan sedimento al sistema litoral. Los cantiles están conformados, principalmente, por sedimentos finos y poco consolidados además de gravas y cantos rodados (Cruz-Colín y Cupul-Magaña, 1997). Sobre ellos, se asienta gran parte de la población que habita en esta área, así como infraestructura industrial, pesquera y de maquila, aunque también se tienen terrenos que no poseen desarrollo alguno, principalmente en la franja costera entre el Hotel Coral y Marina y el puerto de Ensenada.

Haciendo una evaluación de los resultados en la zona norte de la bahía, se tiene que el nivel del mar alcanza zonas secas que actualmente tienen algún uso, como es el caso de la franja costera frente al residencial

Colinas del Mar o San Miguel, en donde aproximadamente el 15 % de la infraestructura habitacional ahí situada se verá afectada. No obstante, las áreas mayormente dañadas son las destinadas a actividades portuarias y marítimas, como el puerto de El Sauzal, un puerto de cabotaje con giro pesquero y mercante utilizado para realizar actividades pesqueras que benefician a la comunidad local y regional (API Ensenada, sf); y la marina del Hotel Coral y Marina, uno de los principales hoteles de la ciudad. En ambos recintos, las estructuras de protección que los conforman sufrirán daño total debido al rebase del nivel del mar dejándolas por debajo de éste (figura 5).

Debido a la geomorfología costera de la zona, se vuelve relevante considerar las afectaciones que este futuro nivel del mar pudiera tener sobre los cantiles, ya que podría aumentar la erosión que actualmente se presenta en la base de éstos, fenómeno que presenta un problema para los habitan-

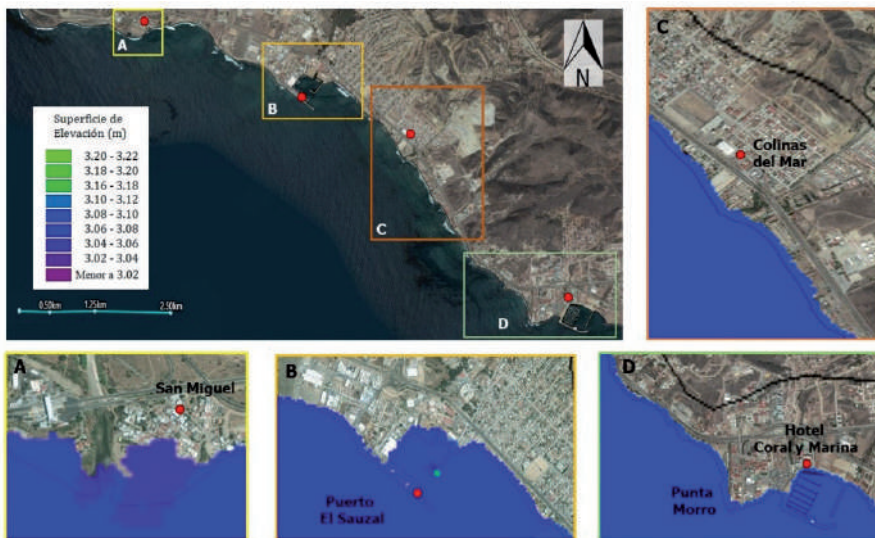


Figura 5. Superficie de elevación del nivel del mar en la franja costera norte: San Miguel-Punta Morro para condiciones actuales (imagen superior izquierda) y condiciones proyectadas (imágenes inferiores y superior derecha).

tes de la zona que ya han construido muros de protección frente a sus propiedades para protegerse del embate de las olas, toda vez que se han visto sorprendidos por la rápida erosión de los cantiles (Cruz-Colín y Cúpul-Magaña, 1997), además de propiciar deslizamientos debido a la inestabilidad que provoca la presencia de bases de cantil erosionadas.

Zona centro

Dentro de esta zona se localiza el puerto de Ensenada, el cual se posiciona como el más visitado del Pacífico y se ubica entre los primeros 10 de Norteamérica desde 2015 (API Ensenada, sf) generando una derrama económica promedio de 3 558 000 dólares mensuales al sector turístico de la ciudad (Uniradio Informa, 2018). Con base en los resultados obtenidos para el escenario proyectado, se alcanza una elevación del nivel del mar mayor a 3 m, afectando directamente a más del 50 % de la infraestructura portuaria (figura 6), lo cual provocaría efectos adversos en la actividad del puerto, lo que impactaría directamente a la economía local y regional.

Una estrategia de mitigación y adaptación ante el incremento del nivel del mar para el puerto de Ensenada debería considerar, entre otras cosas, rediseñar las obras de protección costera que lo conforman, estableciendo nuevas alturas de diseño con base en las condiciones hidrodinámicas futuras, y quizá la implementación de nuevas estructuras que puedan brindar protección al recinto portuario y permitan la continuidad y desarrollo de las actividades que ahí se realizan.

Hacia el sur del puerto de Ensenada se localiza una extensa franja de playa arenosa conocida comúnmente por los locales como playa Hermosa, la cual se extiende desde la desembocadura del arroyo El Gallo hasta las inmediaciones del Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP) de Ensenada (figura 7). En esta playa de arena se realizan principalmente, actividades recreativas enfocadas en el turismo de playa, por ser la zona más accesible y cercana para los locales y los turistas que arriban a la ciudad. Sin embargo, sobre la costa también se localizan asentamientos humanos que se han ido expandiendo so-

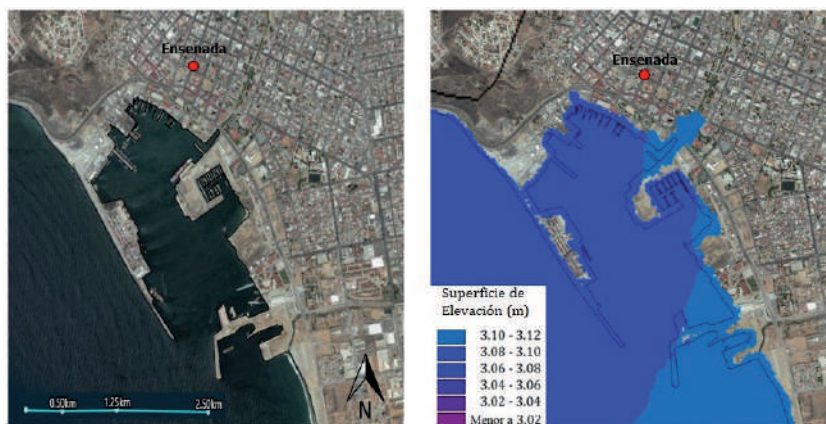


Figura 6. Superficie de elevación del mar bajo condiciones actuales (izquierda) y escenario futuro (derecha) para el puerto de Ensenada.

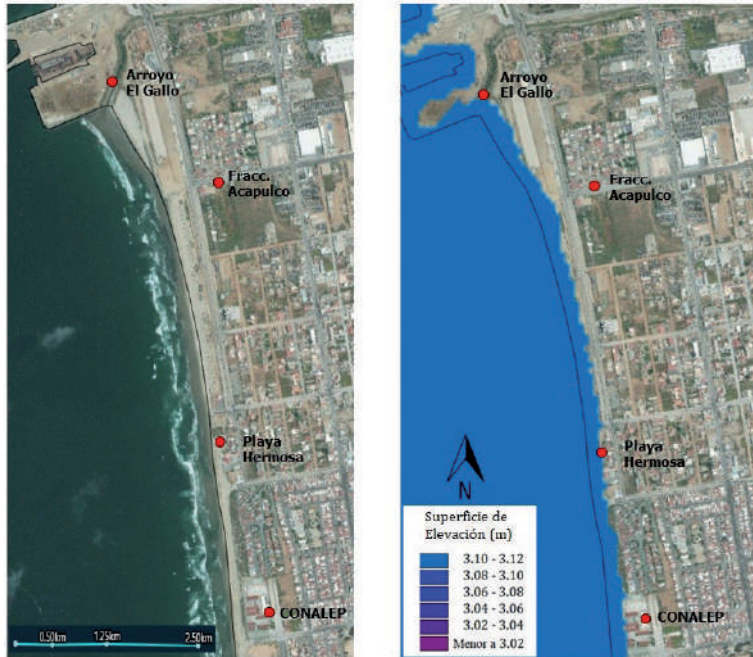


Figura 7. Superficie de elevación en la franja costera centro: arroyo El Gallo-CONALEP.

bre ella con el paso de los años, generando mayor opresión al litoral.

La superficie de elevación del nivel del mar en esta franja litoral alcanza alturas máximas de 3.12 m sin generar problemas de inundación ya que la población asentada sobre la costa se sitúa en la cota de elevación del terreno de 4 m. A pesar de esto, es importante resaltar que la pérdida de playa asociada a la erosión que generaría este nuevo nivel del mar, si será un problema grave para la ciudad, ya que supondrá un golpe a la economía del sector que se beneficia de este turismo de playa y para la localidad en general.

Hacia el sur del CONALEP, la playa arenosa se continúa bajo el nombre de El Ciprés, en donde se ubica la Lagunita, un pequeño humedal de agua dulce separado del mar por una barrera de dunas (Anda *et*

al., 2013) y una playa de aproximadamente 100 m que sirven como amortiguamiento y protección de la variabilidad del nivel del mar actual (oleaje y mareas) (figura 8). Por la lejanía a la mancha urbana de Ensenada, esta franja de playa no es tan concurrida por los turistas como playa Hermosa, tampoco se encuentra ocupada por asentamientos humanos, a excepción del conjunto residencial Pacífica, situado sobre la barrera de dunas, a 250 m al sur de la Lagunita.

Al no haber desarrollo urbano en esta franja costera, la afectación a la población sería mínima, pero relevante desde el enfoque de la erosión y la pérdida de terreno, ya que el alcance tierra adentro que tiene la superficie de elevación del nivel del mar proyectado supera los 70 m, lo que podría poner en riesgo al humedal si las condiciones hidrodinámicas se intensificaran.

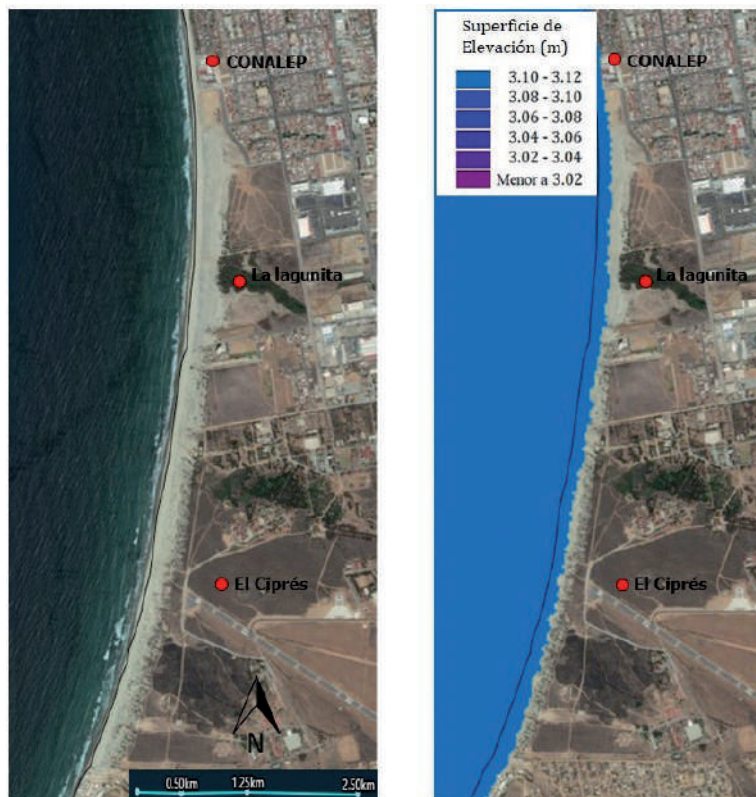


Figura 8. Superficie de elevación en la franja costera CONALEP-El Ciprés. Se alcanza una altura superior a los 3 m que alcanza una invasión de playa seca de casi 70 m.

El terreno de playa contiguo a la franja de El Ciprés alberga los asentamientos humanos conocidos como: playa Corona, Nueva España, playa Mona Lisa y playa El Faro, cercanos todos a la boca del estero de Punta Banda (figura 9).

En esta zona, debido a la infraestructura presente en playa Corona, Nueva España y El Faro, los 3 m de superficie de elevación alcanzada por el nivel del mar afectan aproximadamente al 70 % del territorio, perjudicando directamente a las personas que ahí residen. Mientras que, en Mona Lisa, poco más del 50 % de la playa se perderá debido a la erosión asociada al nivel del mar futuro, provocando la pérdida de un

sitio que actualmente tiene un uso recreativo y de amortiguamiento contra el oleaje.

En la boca del estero se localiza el Hotel Estero Beach, uno de los hoteles más importantes en la ciudad. El terreno que actualmente ocupa este hotel se verá afectado por elevaciones de hasta 3.2 m lo que ocasionará que la infraestructura hotelera sea dañada en su totalidad, perjudicando directamente al sector turístico y hotelero.

Zona sur

La zona sur de la bahía comprende una barra de arena de 7 km de longitud desde la boca del estero de Punta Banda hasta playa La Joyita, una playa utilizada con

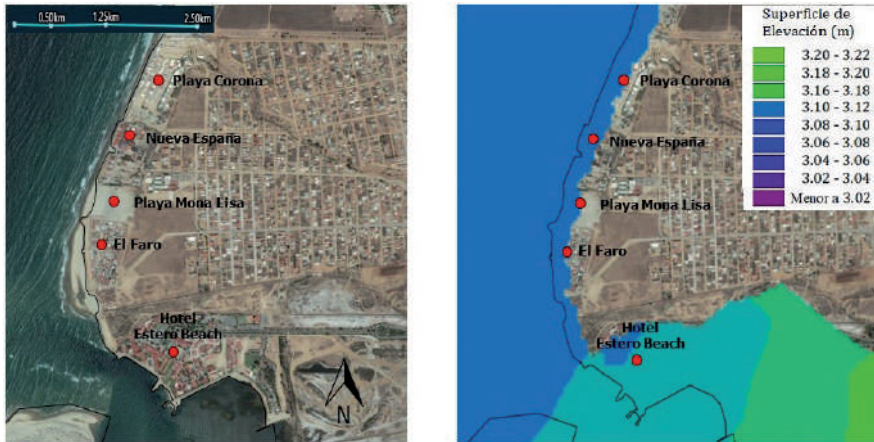


Figura 9. Superficie de elevación del nivel del mar en la boca del estero de Punta Banda que sobrepasa la zona seca que actualmente tiene uso habitacional y turístico.

finés recreativos por turistas locales y extranjeros ubicada en la porción inicial de la península de Punta Banda (figura 10). Dentro de esta franja se localiza el estero de Punta Banda, que como ya se mencionó anteriormente, es un humedal reconocido como sitio RAMSAR desde 2006 (Proesteros, 2005); y el Valle de Maneadero, una zona muy importante para la región por su gran actividad agrícola.

Aproximadamente el 70 % de la longitud de la barra de arena del estero se encuentra ocupada por infraestructura habitacional/vacacional (Proesteros, 2005), la mayoría de las propiedades que aquí se sitúan pertenecen a extranjeros, los cuales habitan el área durante temporadas vacacionales (IMIP, sf en Carmona, 2013), por lo que la mayor parte del año se encuentran deshabitadas y/o abandonados en su totalidad.

Con base en los resultados, en esta zona se presentan los valores más altos de superficie del nivel del mar, alcanzando alturas de hasta 3.26 m, por lo que evidentemente la barra de arena se ve comprometida ante la pérdida de más del 90 % de su superficie

(figura 10). De tal manera que, la afectación causada por el aumento del nivel del mar traerá consecuencias adversas para los propietarios de la infraestructura asentada sobre la barra, e incrementará significativamente si se considera el potencial erosivo sobre esta zona; ya que, si la barra de arena se pierde, el estero quedará expuesto a la acción y libre acceso del agua de mar hacia el continente, lo que podría agravar el problema de intrusión salina que se presenta en la zona y repercutir disminuyendo el área agrícola actualmente disponible.

Cabe aclarar que, para el escenario proyectado para fin de siglo, los mapas aquí presentados están referidos a la superficie de elevación que alcanza el nivel del mar sobre la zona costera, en donde queda establecida la extensión tierra adentro que se “moja” producto de eventos extremos simulados numéricamente y el incremento del nivel del mar asociado al cambio climático. Por lo tanto, estos resultados constituyen una buena aproximación para identificar las zonas susceptibles a inundación costera, la cual debe ser complementada con un aná-

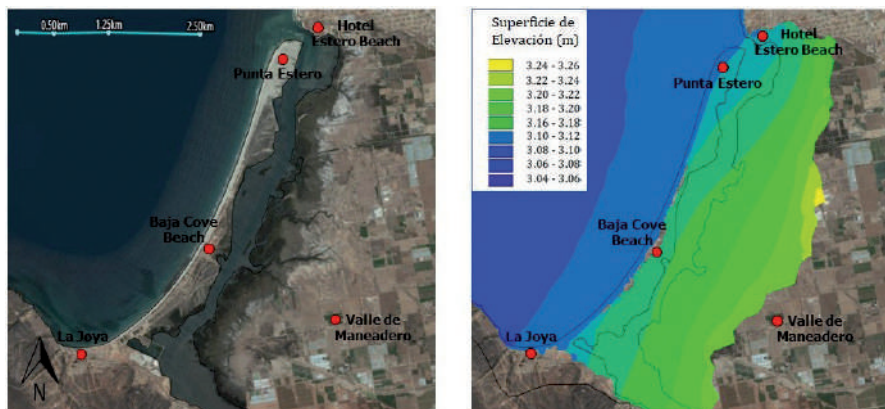


Figura 10. Pérdida de la barra de arena del Estero de Punta Banda debido al incremento del nivel del mar.

lisis de vulnerabilidad y riesgo, para tener un panorama más amplio del fenómeno de inundación.

Es importante considerar que estos resultados consideran las características fisiográficas actuales de la línea de costa en la

bahía, así que, mientras la costa no se modifique, estos resultados tendrán validez. Cualquier futura modificación antrópica o natural podría afectar la estabilidad natural del sistema e incrementar el peligro de inundación.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Identificar y evaluar el riesgo de inundación por eventos extremos e incremento el nivel del mar en zonas costeras es primordial para el diseño de infraestructura, gestión de emergencias y respaldar la toma de decisiones en el manejo costero; ya que dentro del manejo de la costa se requiere hacer una planeación basada en el conocimiento confiable y compartido, adoptando una perspectiva transversal y a largo plazo, involucrando a las partes interesadas y tomando en cuenta y de manera conjunta, a los componentes marino y terrestre que influyen el litoral.

Para este caso de estudio, los resultados presentados constituyen una buena apro-

ximación para la identificación de zonas susceptibles a inundación costera asociada al incremento del nivel del mar y eventos extremos, ya que permite hacer una comparación entre condiciones actuales y condiciones proyectadas. Con base en los resultados presentados, bajo condiciones actuales regidas por la hidrodinámica que no considera incremento del nivel del mar, la bahía de Ensenada no supone un riesgo de inundación, lo que indica que, mientras esas condiciones hidrodinámicas no se vean alteradas y/o modificadas, la zona costera que actualmente se encuentra seca y tiene algún uso no se verá afectada. Sin embargo, bajo condiciones proyectadas en donde la

hidrodinámica supone eventos extremos y un incremento de nivel del mar de 2 m, la franja costera que actualmente se encuentra seca y que se utiliza para algún fin, principalmente recreativo o habitacional, se verá comprometida por la mancha de inundación que representa un peligro latente para determinadas zonas de la bahía.

Para el caso de las playas Corona, Nueva España, Mona Lisa y El Faro, localizadas al sur de la ciudad de Ensenada, se deberá considerar la generación de un plan de adaptación ante el incremento del nivel del mar que incluya un programa de monitoreo de erosión de playas que permita a los desarrolladores y/o propietarios en el sitio, tener control de la infraestructura y estrategias de mitigación, emergencia y adaptación ante inundaciones.

De igual forma, este plan de adaptación y programa de monitoreo de playas deberá incluir la barra de arena del estero de Punta Banda la cual bajo el escenario proyectado, se ve comprometida en su totalidad, lo que potencia el problema debido a que en ella se localiza, además de infraestructura habitacional y turística, el sitio RAMSAR #1604 que da albergue a aves playeras importantes para la región, por lo que este plan de adaptación deberá realizarse de manera conjunta con personas involucradas en la conservación y protección de humedales costeros, que establezcan acciones prioritarias que aseguren la permanencia del estero ante el incremento del nivel del mar.

Deberán también unirse a este plan de adaptación, el sector hotelero/turístico y el sector agrícola del Valle de Maneadero, el primero por la afectación total al Hotel Estero Beach bajo el escenario proyectado, y el segundo porque al perderse o verse afectada la barra que protege al estero, el agua de mar alcanzará mayor territorio tie-

rra adentro pudiendo contaminar con agua salada la zona que actualmente se utiliza con fines agrícolas. Por lo tanto, el tema de la intrusión salina y las técnicas o medidas de mitigación o respuesta que se tomarán deben ser prioritarias en este plan de adaptación.

Para las zonas destinadas al uso portuario, la Administración Portuaria Integral de Ensenada (API-Ensenada) deberá verificar el tiempo de concesión para el funcionamiento de los puertos El Sauzal y Ensenada, así mismo, deberán asegurarse de que las condiciones de diseño de las estructuras de protección como rompeolas y espigones, contemplen los cambios futuros en la hidrodinámica producto del incremento del nivel del mar y las condiciones extremas de oleaje, esto con la finalidad de asegurar la funcionalidad y seguridad futura de las instalaciones para el correcto desempeño de las actividades portuarias.

En la zona norte de la bahía, en la cual domina la presencia de cantiles, si bien no es un área sujeta a inundación, la erosión que actualmente se presenta en la base de los cantiles se potenciaría, pudiendo generar deslizamientos que afectarían la infraestructura asentada sobre ellos; por lo que se deberá implementar un plan de monitoreo de erosión de cantiles en el cual se tome a consideración la hidrodinámica de las condiciones actuales y la hidrodinámica de las condiciones proyectadas. En este plan deberán implementarse acciones que mitiguen la erosión en las bases de los cantiles mediante obras ingenieriles de protección o algún otro método adecuado para el sitio, y que además regulen el desarrollo de infraestructura en la zona, ya que, por ofrecer vistas privilegiadas al mar, la tendencia va a la alta en cuando a desarrollo habitacional y turístico se refiere.

Los resultados presentados en este caso de estudio deberán complementarse con un análisis detallado de la vulnerabilidad costera de la bahía, que tome en consideración las proyecciones de desarrollo futuro de la ciudad y las características del medio físico y ambiental, para poder abordar a fondo el problema de erosión derivado del incremento del nivel del mar, ya que los resultados aquí presentados permiten identificar las áreas vulnerables y tener una primera aproximación de la extensión y alcance de las inundaciones. Aunado a estas recomendaciones, deberá realizarse un análisis de riesgo de inundación, en donde de manera conjunta, se evalúen el peligro y la vulnerabilidad y se establezca el nivel de riesgo para cada zona de la bahía que incluya las pérdidas económicas, con esto se tendrá un panorama más amplio del fenómeno de inundación.

De manera general, se recomienda hacer una actualización del Atlas de Riesgos Naturales de Ensenada, en donde se incluya riesgo de inundación de origen marino y preferentemente, aunado a las descargas terrestres por parte de los arroyos, considerando eventos en los cuales las avenidas de los arroyos coinciden con la pleamar y los eventos extremos marinos.

Recordemos que una adaptación planificada y proactiva, apunta a la reducción de la vulnerabilidad de un sistema mediante la minimización del riesgo o la maximización de la capacidad de adaptación; ya que incluso con un mínimo de impactos, el proceso de reconstrucción podría durar varios años y causar un gran impacto en la comunidad local y su economía.

Literatura citada

- Administración Portuaria Integral de Ensenada (API-Ensenada), sf. Handbook 2013-2014. Recuperado de: <https://www.puertoensenada.com.mx/upl/sec/HAND-BOOK-API-2013-2014.pdf>
- Anda-Martín, B. I., J. Chavira-Silva, A. Del Toro-Kobzeff, R.A. Flores-Zavala, M.E. Jaimes-Lugo, y Z.I. González-Acevedo, 2013. Características ambientales de la Lagunita de El Ciprés, Mpio. de Ensenada, Baja California y las amenazas a su conservación. *GEOS*. 33(2): 372-390.
- Balica, S. F., I., Popescu, L., Beevers, y N. G., Wright, 2012. Applying the flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment. In *Environmental Modelling & Software* (Vol. 41). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.002>.
- Bates, P. D., R. J. Dawson, J. W. Hall, M. S. Horritt, R. J. Nicholls, J. Wicks, y M.A. Hassan, 2005. Simplified two-dimensional numerical modelling of coastal flooding and example applications. *Coastal Engineering*, 52(9): 793-810. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.06.001>
- Carmona Enríquez, R. M., 2013. Modelo de riesgo de inundación costera causada por variaciones del nivel del mar, aplicado a la ciudad de Ensenada. Universidad Autónoma de Baja California.
- Chen, X., I. M. Navon, y F. Fang, 2011. A dual-weighted trust-region adaptive POD 4D-VAR applied to a finite-element shallow-water equations model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*. <https://doi.org/10.1002/flid.2198>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), sf. Materiales de capacitación del GCE sobre evaluaciones de vulnerabilidad y adaptación. Capítulo 5: Recursos Costeros. Recuperado de: <http://www.oceanografossinfronteras.org>

- Cruz-Colín, M. E., y L. A. Cupul-Magaña, 1997. Erosión y aporte sedimentario de los cantiles marinos de la bahía de Todos Santos, Baja California, en el periodo de 1970 A 1991. *Ciencias Marinas*, 23(3): 303–315.
- Dassanayake, D., A. Burzel, y H., Oumeraci, 2012. Coastal Flood Risk: The importance of intangible losses and their integration. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(33).
- Delgado-González, O., R. Lizárraga-Arciniega, A. Martínez-Díaz-de-León, L. Galindo-Bect, J. L. Fermán-Almada, A. Sánchez-Arcilla, y A. Cruz-Varela, 2005. Cambios en la posición de la línea de playa de la boca del Estero de Punta Banda, Baja California, durante 1972-2003. *Ciencias Marinas*, 31: 707–717.
- Fernández, V., R. Silva, E. Mendoza, y B. Riedel, 2018. Coastal flood assessment due to extreme events at Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 165: 319-333. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.09.007>
- Gallien, T. W., 2016. Validated coastal flood modeling at Imperial Beach, California: Comparing total water level, empirical and numerical overtopping methodologies. *Coastal Engineering*, 111: 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.01.014>
- Gallien, T. W., B.F. Sanders, y R.E. Flick, 2014. Urban coastal flood prediction: Integrating wave overtopping, flood defenses and drainage. *Coastal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.04.007>
- Herguera, J. C., y M., Ortiz, 2009. Plan Estatal de Acción Climática de Baja California : Subida del nivel del mar , necesidad de establecer los niveles de referencia y vulnerabilidad de las costas de Baja California. En Taller del PEAC - BC. Mexicali.
- Kantha, L., y C., Clayson, 2000. Numerical Models of Oceans and Oceanic Processes. *International Geophysics* 66. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(00\)80027-3](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(00)80027-3)
- Martínez-Díaz de León, A., 2004. Spatial Variability of Wave Data from Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 1231–1236. <https://doi.org/10.2112/03-0046RR.1>
- Martínez-Díaz de León, A., y P. Coria-Méndez, 1993. Probability distribution of wave height in Todos Santos Bay, B. C., Mexico. *Ciencias Marinas*, 19(2): 203-218.
- McInnes, K. L., K. J. E., Walsh, G. D., Hubbert, y T., Beer, 2003. Impact of Sea-level Rise and Storm Surges on a Coastal Community. *Natural Hazards*, 30(2), 187–207. <https://doi.org/10.1023/A:1026118417752>
- Montoya Turrillas, F. J., y L. Gómez-Morín Fuentes, 1991. Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 17(2): 25-36.
- Nicholls, R. J., F., Hoozemans, y M., Marchand, 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. *Global Environmental Change*, 9: S69-S87. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(99\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00019-9)
- Nicholls, R.J., y J.A. Lowe, 2004. Benefits of mitigation of climate change for coastal areas. *Global Environmental Change*, 14(3): 229-244. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.04.005>
- Nicholls, R. J., B., Zanuttigh, J. P., Vanderlinden, R., Weisse, R., Silva, S., Hanson, S., Narayan, S., Hoggart, R. C., Thompson, W., Vries, y P., Koundouri, 2015. Chapter 2 - Developing a Holistic Approach to Assessing and Managing Coastal Flood Risk. *Coastal Risk Management in a Changing Climate*. 9-53. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397310-8.00002-6>
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Summary for policy makers.
- Peynador, C., y F. Méndez-Sánchez, 2010. Managing coastal erosion: A management proposal for a littoral cell in Todos Santos Bay, Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 53 (7): 350–357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.04.016>
- Proesteros, 2005. Ficha Informativa de los humedales de Ramsar (FIR). Recuperado de: https://proesteros.org/wp-content/uploads/2016/10/Ficha-Ramsar-Mexico_Estero_de_Punta_Banda.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2010. *Gestión del Riesgo Climático*. Recuperado de: <http://www.cornare.gov.co/planificacion-ambiental/gestion-del-riesgo>
- Sánchez, A., J. Carriquiry, J. Barrera, y B. E. López-Ortiz, 2009. Comparación de modelos de transporte de sedimento en la Bahía Todos Santos, Baja California, México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 61: 13-24.

- Seenath, A., 2015. Modelling coastal flood vulnerability: Does spatially-distributed friction improve the prediction of flood extent. *Applied Geography*, 64: 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.09.010>
- Seenath, A., M. Wilson, y K. Miller, 2016. Hydrodynamic versus GIS modelling for coastal flood vulnerability assessment: Which is better for guiding coastal management? *Ocean and Coastal Management*, 120: 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.019>
- UniradioInforma, 2018. Bajan 55 mil 600 pasajeros de 23 cruceros, cada mes. Recuperado de: <https://www.uniradioinforma.com/noticias/ensenada/542533/bajan-55-mil-600-pasajeros-de-23-cruceros-cada-mes.html>
- Universidad Autónoma de Baja California y Instituto de Investigaciones Oceanológicas, 2012. Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada 2012. Número de obra 102001pp033196. Número de expediente PP/02011/AE/096.
- Villatoro, M., R., Silva, F. J., Méndez, B., Zanuttigh, S., Pan, E., Trifonova, y P., Eftimova, 2014. An approach to assess flooding and erosion risk for open beaches in a changing climate. *Coastal Engineering*, 87: 50–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.11.009>

Humedales costeros de agua dulce y bases para su gobernanza

P. Moreno-Casasola, L. Aguirre-Franco, A. Campos C., C.O. Carral-Murrieta, E. Cejudo, R.M. González-Marín, M. González Nochebuena, M.E. Hernández, D. Infante-Mata, A. Lazos Ruíz, H. López-Rosas, R. Monroy I., I. Neri Flores, L.A. Peralta-Peláez, K. Rodríguez-Medina, L. Sánchez-Higueredo, E.A. Sánchez-García, O. Sánchez-Luna, C. Vázquez-González y J. Vázquez-Benavides

Resumen

A lo largo de las planicies costeras de México y detrás de los manglares, se extienden humedales de agua dulce alimentados por el flujo superficial de los ríos y el agua de escurrimiento de las sierras. Forman grandes extensiones principalmente en Veracruz, Tabasco y Chiapas y pueden ser de diferentes tipos, dependiendo sobre todo de su hidrología: en terrenos que permanecen inundados algunos meses al año se encuentran las selvas inundables, y en terrenos cubiertos por agua la mayor parte del año se encuentran humedales herbáceos (popales, tulares, carrizales). Debido a las di-

ferencias en su composición de especies, en conjunto representan una alta diversidad biológica. Se establecen sobre suelos orgánicos que almacenan gran cantidad de agua y carbono, ayudando a reducir los picos de inundación, depurar el agua, y mitigar el cambio climático. Los datos de almacén de carbono y de almacenamiento de agua en el suelo, así como la capacidad para asimilar nutrientes y otros compuestos, muestra que sus servicios hidrológicos son de gran importancia para la sociedad. Gran parte de estos ecosistemas han sido transformados en distinto grado debido a las diferentes actividades económicas como la cría de ganado, la introducción de pastos forrajeros y, en el peor de los casos, su desecamiento para el desarrollo de las urbanizaciones. Además hay intereses conservacionistas. Algunos están regidos por la federación, otros por los estados y otros por los municipios. Todo ello hace que su gobernanza sea muy compleja. A pesar de los esfuerzos y cambios paulatinos en el marco legal, el cual ha dado pie a la generación de algunos instrumentos que ayudan a su conservación como el cálculo de caudales ecológicos y los decretos de reservas de agua, así como la política de mitigación con base en captura de carbono, es necesario trabajar en el reconocimiento institucional para que estos ecosistemas tengan la importancia que merecen en las políticas públicas y en el sistema de conservación nacional.

Palabras clave: cambio climático, popales, selvas inundables, servicios ecosistémicos, tulares.

Introducción

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más valiosos por los recursos y servicios ecosistémicos que proveen, entre ellos el agua dulce. Son ecosistemas de transición entre la tierra y los sistemas acuáticos. Deben tener uno o más de los siguientes tres atributos (Mitsch y Gosselink, 2000): a) el suelo o sustrato debe ser fundamentalmente hidromórfico (con una saturación de agua temporal o permanente; b) una capa de agua poco profunda (superficial) o agua subterránea muy cercana a la superficie del suelo ya sea temporal o permanente; y c) al menos periódicamente, el terreno debe mantener predominantemente una vegetación acuática o hidrófila.

Los humedales incluyen numerosos tipos de ecosistemas, desde herbáceos flotantes o enraizados, arbustivos o arbóreos, y

frecuentemente forman un complejo que conjunta varios tipos en la misma zona. Pueden estar permanente o temporalmente inundados, con agua dulce o salobre. Wheeler *et al.* (2002) plantean que existe tanta variabilidad entre los ecosistemas terrestres como entre los humedales, en función de cómo los atributos interactúan con la geomorfología y el clima. Localmente, los humedales costeros forman un gradiente con distinto grado de inundación y salinidad (Lara-Lara *et al.*, 2008), dando como resultado una amplia gama de condiciones hidrológicas que se reflejan en una gran diversidad de humedales (Snedden y Steyer, 2013). En este capítulo se hace énfasis en los humedales costeros de agua dulce (HCAD), tanto herbáceos (popales, tulares, carrizales, potreros inundables derivados

de humedales) como arbóreos (selvas y palmares inundables), que se establecen en las planicies costeras, por debajo de los 100 msnm y que mantienen una conexión entre sí. Son ecosistemas poco estudiados en México y es necesario, con base en su conocimiento, aquilatar su valor para poder establecer esquemas de gobernanza.

Los humedales a nivel mundial cubren una superficie aproximada de 29.83 millones de km². Actualmente se estima que quedan entre 1.53 y 14.86 millones de km².

De éstos, se sabe que los humedales de agua dulce cubren sólo el 1 % de la superficie del planeta (Hu *et al.*, 2017). Los humedales de México ocupan una extensión mayor en la zona costera que tierra adentro (Olmsted, 1993), ubicándose entre el paisaje terrestre cercano a la costa y el borde exterior de la zona de mareas (Contreras-Espinosa y Warner, 2004). Se ha calculado que México ha perdido o deteriorado el 62.1 % de sus humedales (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012).

Lo que sabemos

En México la investigación de humedales se ha centrado fundamentalmente en la sistemática y descripción de las especies acuáticas, en las descripciones florísticas de distintos tipos de humedales y desde el punto de vista de los ecosistemas, en los manglares. Antonio Lot ha publicado obras importantes describiendo las especies acuáticas, incluyendo las de HCAD (Lot, 2004, 2012; Lot *et al.*, 1999, 2013). Alejandro Novelo describió las comunidades de Pantanos de Centla (Novelo, 2006). Ambos han contribuido en Flora Mesoamericana y con diversos capítulos en las obras de CONABIO de la biodiversidad de los estados. Martínez y Novelo (1993) y Mora Olivo *et al.* (2008) describieron la vegetación acuática de Tamaulipas y su distribución. Existen algunas guías que permiten la identificación de especies de plantas y animales de los HCAD (Lot *et al.*, 1999, 2015; Barba-Macías *et al.*, 2013; Moreno-Casasola *et al.*, 2015).

A nivel de tipos de los HCAD hay varias publicaciones que describen la estructura y composición de la vegetación (Lot y Novelo, 1990; Moreno-Casasola *et al.*, 2010;

2012a; Moreno-Casasola, 2016; Peralta-Peláez *et al.*, 2009, 2014; Cejudo y Herrera-Caamal, 2019, entre otros).

En los gradientes costeros los manglares se establecen en las zonas de alta deposición de sedimentos y con influencia marina, salinidad en el agua superficial, a nivel de las raíces y en el manto freático. Frecuentemente por atrás de los manglares, donde se reduce la influencia salina, se establecen las selvas inundables (Infante-Mata *et al.*, 2014) y/o los tulares. Estos humedales toleran salinidades bajas (figura 1) y los autores arriba mencionados han propuesto a la especie *Pachira aquatica* como el límite de los manglares de agua dulce. Por atrás de éstos, se establecen los popales y los carrizales. La presencia de humedales herbáceos y arbóreos detrás de la zona de manglares ayuda a reducir la velocidad de las corrientes de agua, permitiendo la alta deposición de sedimentos. Los humedales de agua dulce se usan como potreros para criar ganado, ya sea solo introduciendo los animales, o pastos nativos o exóticos que toleran la inundación (López-Rosas *et al.*, 2005; Tra-

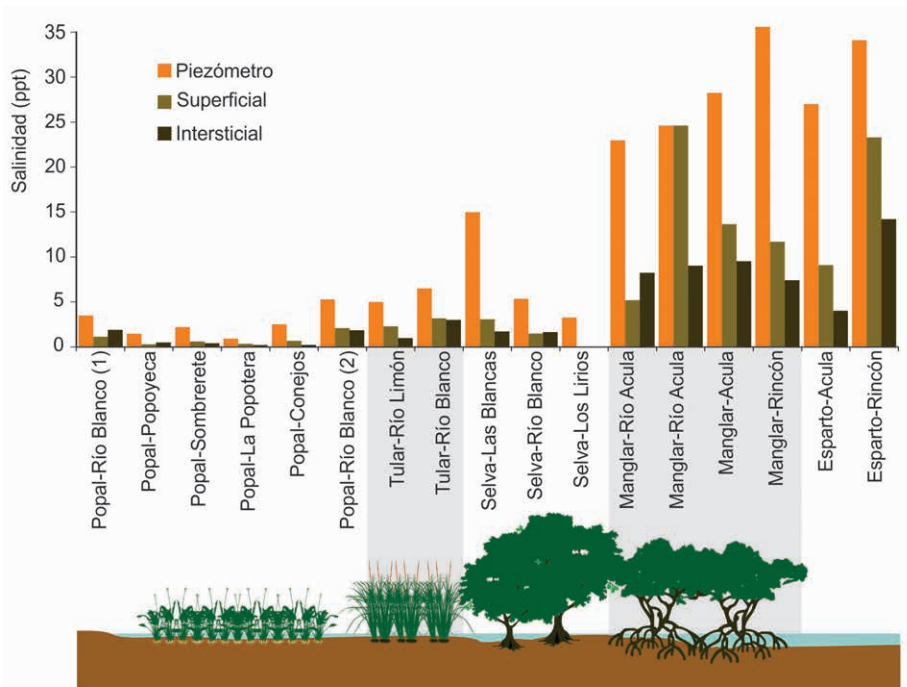


Figura 1. Perfil de vegetación mostrando los gradientes que se forman de la orillas del mar hacia el interior, indicando los rangos de salinidad del agua.

vieso-Bello *et al.*, 2005; Moreno-Casasola *et al.*, 2012b; Rodríguez-Medina y Moreno-Casasola, 2013; Rodríguez-Medina *et al.*, 2017).

El Inventario Nacional de Humedales ha mapeado y cuantificado los humedales del país (CONAGUA, 2017). Al eliminar de esta base de datos los manglares, y quedar solamente aquellos que están a una altura menor a 100 msnm, se obtiene una superficie de 59 156.85 km² de HCAD. En el mapa de uso de suelo y vegetación serie VI (INEGI, 2016), se reportan sólo 14 737.77 km² que corresponden a la agrupación de vegetación hidrófila y se compone de selvas, bosques y vegetación de galería, vegetación de petén, manglar, popal, tular y vegetación halófila. La figura 2 muestra un mapa de los hume-

dales costeros de agua dulce, eliminando lo que las bases de datos anteriores marcan como manglares.

Relación humedales-medio ambiente

Mitsch y Gosselink (2000) proponen un modelo con tres atributos para entender los componentes del humedal y las interacciones que se establecen entre ellos, arriba mencionados. La investigación sobre la ecología de los HCAD se ha concentrado en Veracruz, y en menor grado en Tabasco y Chiapas. Se ha trabajado sobre la relación de los distintos tipos de humedales y el medio ambiente, sobre todo el agua y el suelo. La hidrología es un componente fundamental que mantiene su estructura y

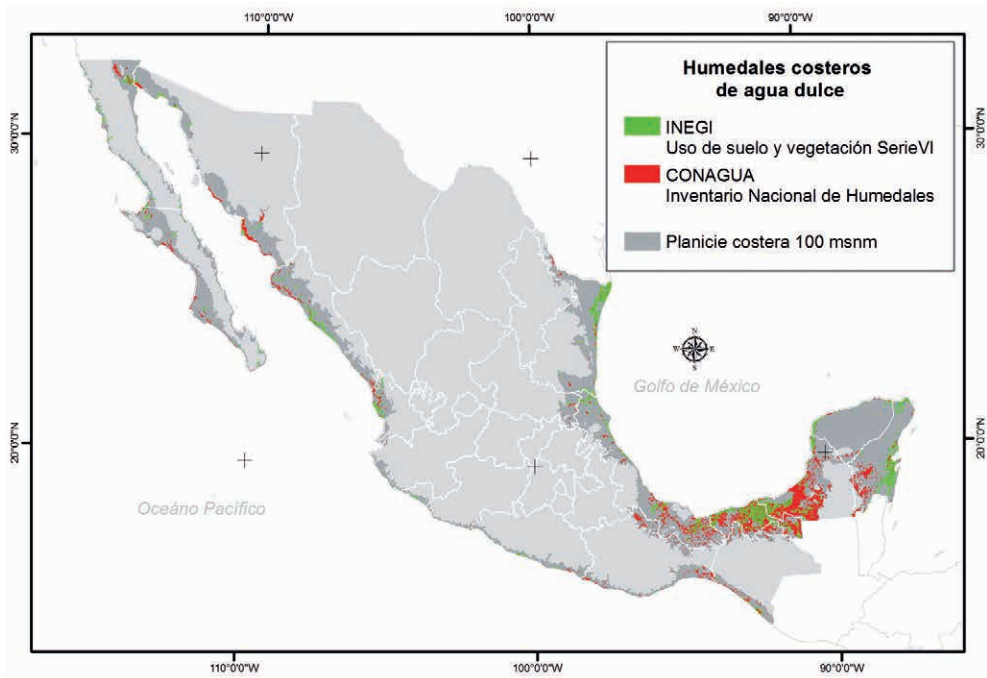


Figura 2. Distribución de los humedales costeros de agua dulce en el país, mostrando las diferencias entre los dos inventarios.

funcionamiento. El balance de agua de un humedal identifica las entradas y salidas de agua. Yetter (2004) realizó el balance del humedal herbáceo de agua dulce ubicado en el Centro de Investigaciones Costeras de La Mancha (Instituto de Ecología A.C.) encontrando que el 75.6 % de las entradas corresponden a aguas subterráneas presentes todo el año, el 5.35 % a aguas de escurrimiento superficial y el 18.98 % a precipitación. Estas dos últimas fuentes son claramente estacionales. El agua superficial y el agua subterránea son dos entradas fundamentales en la mayoría de los humedales costeros.

Las interacciones de ríos, lagos y humedales con el agua subterránea son gobernadas por las posiciones de los cuerpos de agua con respecto a los sistemas de flujo subterráneo, características geológicas de

sus capas y parámetros climáticos (Winter, 1999). El agua subterránea se mueve a lo largo de líneas de flujo que organizadas en el espacio, se conocen como sistemas de flujo, y pueden ser locales, intermedios y regionales (Tóth, 1999). En Neri-Flores (2017) que en el Río Jamapa (Veracruz), existe una fuerte interacción del agua subterránea-agua superficial, relacionada con flujos locales subterráneos identificando zonas que presentan inundaciones por agua subterránea (sin que exista desbordamiento de ríos) y además existe una zona de influencia de al menos 500 m, donde existe una interacción río-acuífero. Estas interacciones explican las planicies extensas de inundación a los lados de los ríos.

El nivel del agua en un humedal (hidroperiodo) se ha descrito como la firma del humedal y describe la fluctuación del

agua, es decir su periodicidad, nivel y permanencia (Mitsch y Gosselink, 2000). Los hidroperiodos reflejan la geomorfología del humedal (figura 3), por ejemplo en las selvas inundables ubicadas en depresiones en dunas costeras el incremento del nivel del agua se mantiene constante durante la

temporada de lluvias y en las planicies de inundación se presentan pulsos de inundación (Infante-Mata, 2011, Infante-Mata *et al.*, 2012). Los cambios en estos niveles, aunque sean de pocos centímetros, generarán cambios en la composición y abundancia de hidrófitas.

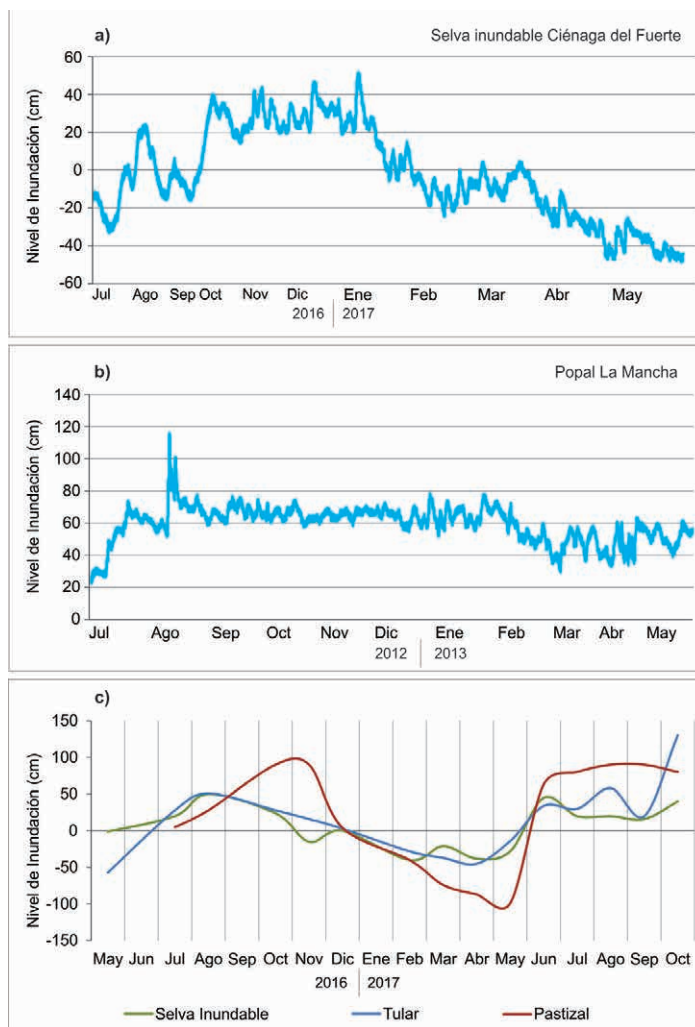


Figura 3. Las especies responden al hidroperiodo. Las selvas de *Pachira aquatica* (Ciénaga del Fuerte, Ver.) se establecen en planicies y frecuentemente muestran los cambios en el nivel del agua producidos por los pulsos de inundación de los ríos (a). Los popales de *Sagittaria lancifolia* y *Pontederia sagittata* (La Mancha, Ver.) permanecen todo el año inundados (b). Comparación de los hidroperiodos de tres tipos de humedales (selva inundable, tular, pastizal inundable) en El Castaño, Chis. (c). Los primeros dos se midieron automáticamente con un HOB0® (ONSET®) durante un año y el tercero cada mes. El cero representa el nivel del suelo.

Los suelos de humedal son aquellos que se han formado bajo condiciones de saturación con agua o que permanecen inundados por un largo periodo en el año. La presencia de agua en todo el perfil o en su mayor parte, produce condiciones de anaerobiosis debido a que el agua desplaza al oxígeno del espacio poroso (Richardson y Vepraskas, 2001). En humedales de agua dulce, el suelo desarrolla propiedades físicas y químicas particulares. Los suelos de selvas inundables se destacan por la presencia de capas orgánicas (horizonte O) que varían entre 20 y 120 cm de espesor; son horizontes orgánicos de color pardo muy negro y negro (tabla 1). El horizonte A, en

estos sitios, tiene un espesor que varía entre 8 y 15 cm, gris muy oscuro. Los horizontes Bg, tienen espesores hasta de 55 cm, de color gris azulado negro y gris verdoso, que indican un fuerte proceso de reducción. En el cuadro 1 se presentan estos mismos datos para humedales herbáceos como popales y tulares.

Se analizaron las propiedades químicas de los suelos de HCAD en varios sitios de Veracruz (figuras 4 y 5). Para el pH, en la mayoría de los sitios se observó un incremento con la profundidad del suelo. Las capas orgánicas (horizontes O) presentaron en general los valores más bajos de pH, variando en promedio entre 4.2 y 5.4, siendo

Tabla 1. Características físicas del suelo de distintos tipos de humedales costeros de agua dulce.

	Horizonte	Espesor (cm)	Color	Procesos
Selvas inundables				
Capas orgánicas	Horizonte O	20 a 120	Pardo muy negro (10YR 2/2), negro (7.5YR 2.5/1)	
	Horizontes A	8 a 15	Gris muy oscuro (10YR 3/1)	
	Horizontes Bg	hasta 55	Gris azulado negro (Gley2 4/5PB) y gris verdoso (Gley1 6/10Y)	Fuertes procesos de reducción
Popales				
Capas orgánicas	Horizonte O	20 a 100	Gris muy oscuro (10YR3/1), negro (7.5YR2.5/1)	
	Horizontes A	20 a 50	Gris oscuro (Gley1 4/N) y negro (Gley1 2.5/N)	
	Horizontes Bg	40 a 85	Gris (Gley1 5/N) y gris verdoso (Gley1 6/N)	Procesos de reducción
Tulares				
Capas orgánicas	Horizonte O	10 a 37	Negro (10YR 2/1) al gris muy oscuro (10YR 3/1)	
	Horizontes A	30 a 50	Gris muy oscuro (10YR 3/1), negro azulado (Gley2 2.5/10B)	Condición química de reducción
	Horizontes Bg	60 a 90	Pardo oliva (2.5Y 4/3), gris muy oscuro (Gley1 3/10Y) y negro (Gley1 2.5/10Y)	Condición química de reducción

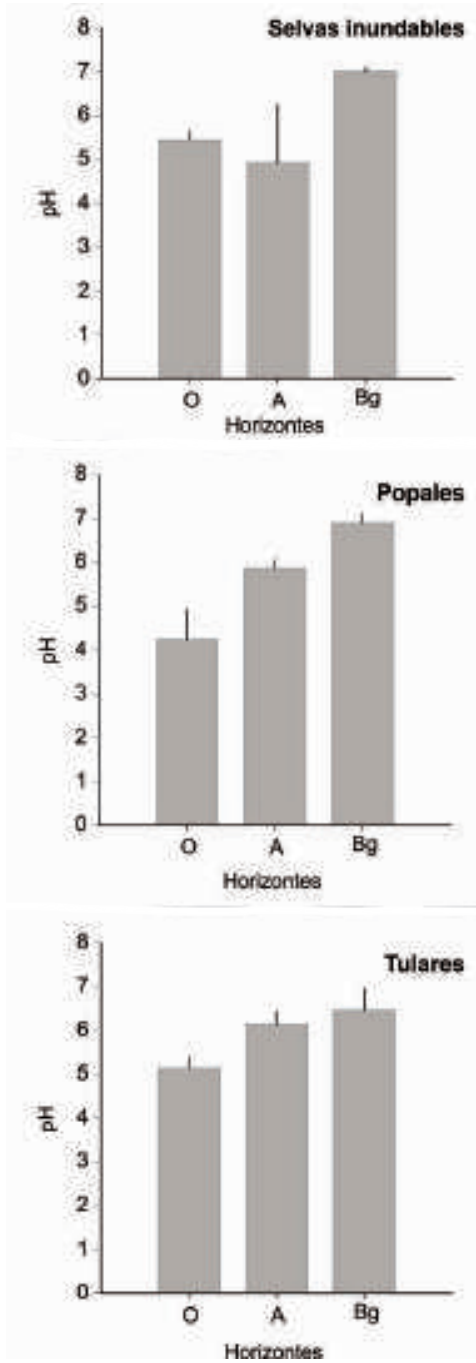


Figura 4. Variación del pH en el perfil del suelo en humedales costeros de agua dulce.

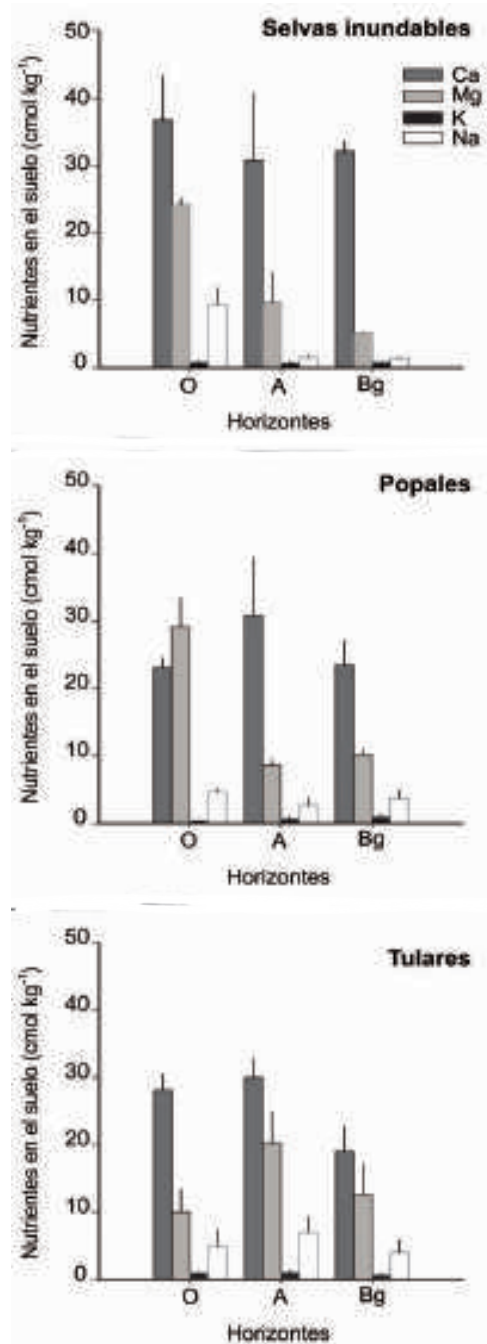


Figura 5. Variación de la concentración de nutrientes en el perfil de suelo en humedales costeros de agua dulce.

los popales los que registraron los pH más ácidos. El horizonte A presentó valores de pH que variaron en promedio entre 4.9 y 6.1, siendo las selvas y los tulares los de pH más bajos y más altos, respectivamente. El pH en los horizontes Bg fue generalmente alto, variando en promedio de 6.4 en tulares, 6.9 en popales y 7.0 en selvas, es decir valores ligeramente ácidos y neutros. En general, los HCAD presentaron enriquecimiento de nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) en el perfil del suelo. Las concentraciones de calcio en suelos de selvas variaron en promedio de 30.7 a 36.7 cmol kg^{-1} , con valores más altos en la capa orgánica (horizonte O), en tanto que en popales, la concentración de calcio varió de 23.0 a 30.8 cmol kg^{-1} , presentándose los valores promedio más altos en el horizonte A; en los tulares, el calcio varió en promedio de 19.0 a 30.0 cmol kg^{-1} con valores más altos en los horizontes A y O. Las concentraciones de magnesio más altas se presentaron en las capas orgánicas de popales (29.0 cmol kg^{-1}) y de selvas (24.1 cmol kg^{-1}), mientras que en los tulares, las concentraciones más altas de magnesio se registraron en los horizontes A (20.1 cmol kg^{-1}) y Bg (12.5 cmol kg^{-1}). Las concentraciones de potasio, en las capas orgánicas fueron altas en las selvas (0.8 cmol kg^{-1}) y tulares (0.9 cmol kg^{-1}), pero bajas en los popales (0.3 cmol kg^{-1}). En las selvas, las concentraciones más altas de sodio (9.4 cmol kg^{-1}) se localizan en la capa orgánica. En todo el perfil de los popales, las concentraciones de sodio variaron en promedio de 2.6 a 4.6 cmol kg^{-1} , registrándose el valor más alto en la capa orgánica. Y en los tulares, fueron muy altas, variando en promedio de 4.0 a 6.9 cmol kg^{-1} .

La densidad aparente, en todos los sitios, se incrementó con la profundidad del suelo (figura 6). Los suelos de los tulares pre-

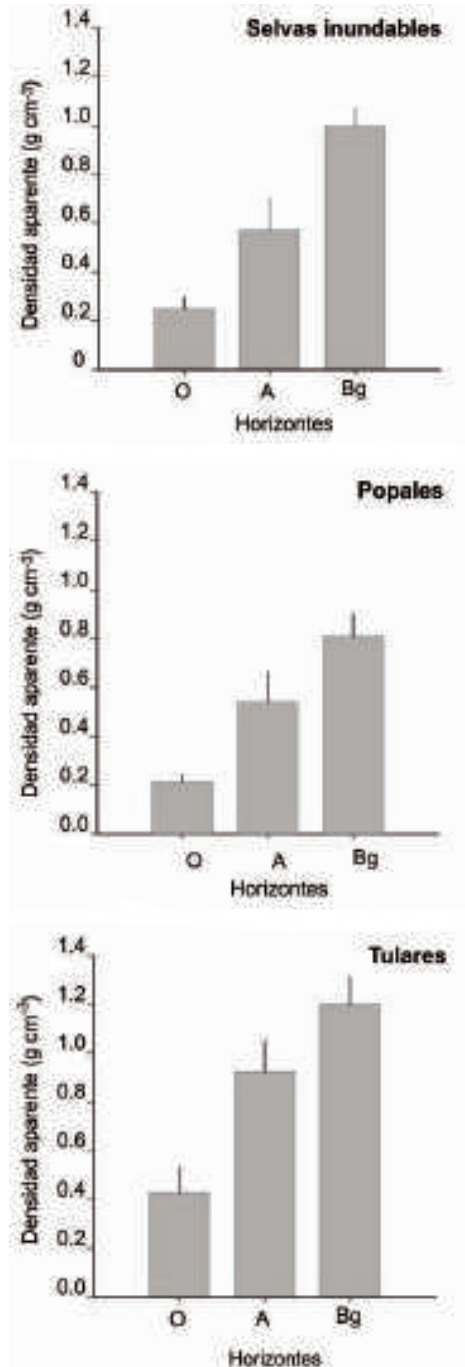


Figura 6. Variación en los valores de densidad aparente en el perfil del suelo en humedales costeros de agua dulce.

sentaron los valores más altos de densidad aparente. En las capas orgánicas, ésta fue en promedio de 0.21 g cm⁻³ en suelo de popales, de 0.25 g cm⁻³ en selvas y de 0.42 g cm⁻³ en tulares. Los horizontes A presentaron valores promedio de 0.54 g cm⁻³ en sitios de popales, de 0.57 g cm⁻³ en selvas y de 0.92 g cm⁻³ en tulares. Los horizontes Bg son capas del suelo más densas, y el valor promedio fue de 0.80 g cm⁻³ en popales, de 0.99 g cm⁻³ en selvas y de 1.19 g cm⁻³ en tulares.

Ecología de humedales

Se ha trabajado en la ecología de especies clave de selvas inundables. Las semillas de especies de árboles de selva como *Annona glabra* y *Pachira aquatica* son hidrócoras (se dispersan por los flujos de agua) por lo que han sincronizado la etapa de producción de semillas con la temporada de lluvia, cuando se incrementa el nivel de agua en la selva (Infante-Mata y Moreno-Casasola, 2005). Su germinación ocurre cuando disminuyen los niveles de inundación y las semillas tocan el suelo. Si las semillas de *A. glabra* quedan enterradas unos cuantos centímetros son capaces de germinar, sin embargo las de *P. aquatica*, al quedar enterradas mueren (Infante-Mata y Moreno-Casasola, 2005).

Las especies de popales requieren condiciones de saturación de agua en el suelo para germinar y son muy sensibles a la salinidad. El aumento en el nivel de salinidad provoca una disminución en el porcentaje de germinación de muchas especies y además retarda su inicio (Sánchez-García *et al.*, 2017). En algunas especies dominantes de popales como *Sagittaria lancifolia*, llega incluso a inhibirse la germinación a salinidades de 15 ppm (tabla 2). Las semillas de la mayoría de las especies que forman los popales, después de ser dispersadas, pueden permanecer viables por varios meses en el suelo del humedal y tienen la capacidad de germinar cuando las condiciones son favorables. Las semillas de algunas especies pueden germinar con valores altos, aún ocho meses después de ser dispersadas (E. Sánchez-García, datos no publicados; tabla 3).

En los humedales herbáceos no se forman bancos de semillas propiamente. Las semillas que llegan a germinar son las producidas en la misma temporada, presentando mayor éxito de germinación aquellas especies con alta capacidad reproductiva, es decir que su reproducción sea por semillas y/u órganos vegetativos como los rizomas. Un ejemplo de ello es la familia Cypera-

Tabla 2. Porcentaje de germinación de cuatro especies de popales bajo diferentes tratamientos de saturación de agua y salinidad (Sánchez-García *et al.*, 2017).

Especie	Humedad		Saturación	
	Agua dulce (0 ppm)	Salinidad (15 ppm)	Agua dulce (0 ppm)	Salinidad (15 ppm)
<i>Fuirena simplex</i>	94.4	0	95.2	81.6
<i>Ludwigia octovalvis</i>	96.8	29.6	91.2	76
<i>Pontederia sagittata</i>	77.6	18.4	72.8	26.4
<i>Sagittaria lancifolia</i>	0.8	0	15.2	0

Tabla 3. Porcentaje de germinación de tres especies frecuentes en popales bajo diferentes tratamientos de saturación de agua y salinidad tras permanecer ocho meses *in situ* en el suelo del humedal (datos no publicados).

Especies	Humedad		Saturación	
	Agua dulce (0 ppm)	Salinidad (10 ppm)	Agua dulce (0 ppm)	Salinidad (10 ppm)
<i>Cyperus digitatus</i>	93	92	90	92
<i>Fuirena simplex</i>	94	42	89	87
<i>Ludwigia octovalvis</i>	81	86	88	86

ceae, cuya estrategia de supervivencia es la producción de una gran cantidad de semillas que germinan masivamente y además poseen reproducción vegetativa (González-Nochebuena, 2015).

El establecimiento de las plántulas de árboles de selva de *P. aquatica* y *A. glabra* ocurre en un amplio gradiente ambiental, bajo el dosel de los árboles, en zonas abiertas, en zonas con inundación o en suelo húmedo, lo que amplía su oportunidad de sobrevivir al siguiente ciclo de inundación (Infante-Mata, 2004). Las plántulas de *P. aquatica* forman extensos bancos de plántulas. Rincón (2014) estudió una selva inundable de *P. aquatica* en la costa de Chiapas.

La palma de coyol real (*Attalea butyracea*) es una especie capaz de sobrevivir bajo un amplio rango de variaciones del hidropereodo. En un experimento se sometieron plántulas a distintas profundidades y periodos de humedad (saturación permanente, anegación intercalado con riego periódico, riego periódico permanente). La altura de las plantas no varió de manera significativa entre los tratamientos. Sin embargo, hubo diferencias significativas en el número de hojas por plántula, en la biomasa subterránea y en el número de individuos vivos al finalizar el experimento, entre el tratamiento de inundación permanente y el resto de

los tratamientos, siendo siempre menor en el primero. *A. butyracea* es una especie muy plástica y forma palmares inundables, un tipo de humedal que pasa poco tiempo inundado (Carral-Murrieta, 2019).

El pasto nativo de humedales conocido como pasto navaja (*Leersia hexandra*), es palatable para el ganado y se usa como forraje principalmente en la temporada de sequía, cuando los otros pastos disminuyen y sólo éste permanece en las zonas bajas inundables, ya que se ve favorecido por condiciones de humedad e inundación. Se comprobó en campo que su crecimiento y establecimiento es mayor cuando está bajo condiciones de inundación y cuando no presenta ningún manejo e intervención llegando a excluir a otras especies nativas convirtiéndose en una especie dominante. La condición de sequía constante fue un factor estresante que disminuyó su crecimiento. Con la poda (simulando el forrajeo del ganado), los efectos positivos de la inundación en el crecimiento se vieron afectados. Sin embargo, el número de rebrotes fue similar en las distintas condiciones, logrando de esta manera recuperarse de la poda (Vázquez-Benavides, 2019).

La productividad de las selvas inundables en Veracruz en general es alta, similar a la del manglar y se ve influenciada por las especies dominantes. En las selvas de

Veracruz, en La Mancha donde domina *A. glabra*, la productividad fue de 971 g m⁻² año⁻¹; para Ciénaga del Fuerte dominada por *P. aquatica* de 1376 g m⁻² año⁻¹, mientras que en Laguna Chica donde domina como árbol *P. aquatica* y como liana *Hippocratea celastroides*, fue de 1485 g m⁻² año⁻¹ (Infante-Mata *et al.*, 2012).

Evaluación de los servicios ecosistémicos

Varios servicios ecosistémicos de los HCAD han sido evaluados. El mayor énfasis ha sido en su capacidad para almacenar carbono ya que los HCAD del sureste mexicano, han demostrado ser importantes sumideros (Hernández *et al.*, 2016; Hernández y Moreno-Casasola, 2018). Los humedales herbáceos, a pesar de que no tienen una cobertura forestal, almacenan carbono en el suelo en cantidades similares a los manglares y a las selvas inundables, almacenando hasta 2.6 veces más carbono que los manglares y 15 veces más que los ecosistemas terrestres (tabla 4).

En segundo lugar se ha analizado la capacidad que los suelos tienen para almacenar agua, lo cual ayuda a alimentar los mantos freáticos, reducir los picos de inundación y evitar la penetración de la cuña salina (Campos *et al.*, 2011). El almacenamiento de agua promedio en el suelo de los sitios estudiados siguió el siguiente orden: selvas inundables (837.7 L m⁻³) > popales (780.0 L m⁻³) > tulares (559.3 L m⁻³). Estos resultados revelan que los sitios de selvas inundables y de popales tienen una alta contribución a la capacidad de retención de agua (figura 7).

Actualmente se usan cada vez más los humedales artificiales y/o construidos para el tratamiento de aguas de diverso origen debido a la capacidad que muchas especies de humedales tienen de remover y/o acumular diversos contaminantes. Las especies del género *Typha* son de las más estudiadas por su tolerancia a altas concentraciones de nutrientes. En un experimento se probó a *Typha domingensis* para remover concentraciones iguales (500 kg·ha⁻¹) y el doble (1000 kg·ha⁻¹) del fertilizante aplicado a cañaverales de la zona central de Veracruz.

Tabla 4. Promedio del carbono orgánico total almacenado en diferentes humedales costeros de agua dulce y su comparación con ecosistemas terrestres de acuerdo con la literatura.

Ecosistema	Carbono almacenado Mg C ha ⁻¹	Referencia
Ecosistemas terrestres de México	62.6	Herrera-Silveria <i>et al.</i> , 2016
Manglares de México	364.0	Herrera-Silveria <i>et al.</i> , 2016
Selva inundable en Chiapas	802.0	Adame <i>et al.</i> , 2015
Humedal herbáceo en Chiapas	337.0	Adame <i>et al.</i> , 2015
Humedal herbáceo en Yucatán	241.0	Adame <i>et al.</i> , 2015
Potrero inundable en Veracruz	230.0	Hernández <i>et al.</i> , 2016
Selva inundable Boquilla, Veracruz	1 100.0	Cruz-Zamora, 2018

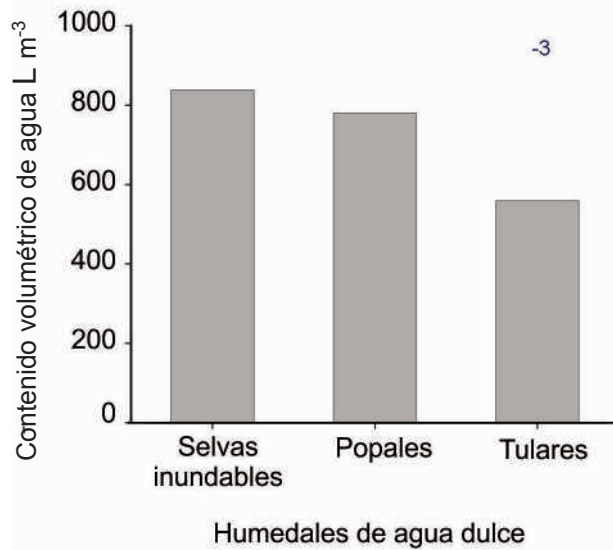


Figura 7. Variación en el almacenamiento de agua del suelo en humedales de agua dulce.

Los resultados indicaron que tolera y crece más, a mayor cantidad de fertilizante aplicado (Sánchez-Higueredo, 2007). Otras especies como *Pontederia sagittata* son eficientes para remover contaminantes de vinazas de ingenios azucareros (Olguín *et al.*, 2008) y en aguas eutrofizadas de lagos urbanos (Olguín *et al.*, 2017). Polomski *et al.* (2016) encontraron que *Thalia geniculata* tiene una alta capacidad para remover fosfatos. Quedan por estudiar muchas otras especies de popales.

Cejudo *et al.* (2009) encontraron que las plantas de HCAD también son capaces de retener herbicidas. La acumulación depende de la especie y de la concentración del herbicida: 30% se acumula en el suelo, 40% en las raíces y 10-20% en el agua. *T. dominicensis* llegó a acumular 250 mg atrazina kg⁻¹ de raíz (peso seco), demostrando, demostrando que estas hidrófitas también ayudan en la depuración de sustancias complejas como los herbicidas.

Valoración económica de los humedales

La estimación del valor de los servicios ecosistémicos expresado en unidades monetarias es una herramienta que puede ser utilizada para dar a conocer y transmitir la importancia que tiene la existencia de los ecosistemas y de la biodiversidad sobre las actividades económicas y el bienestar de la sociedad, y de esta forma, explicar a los tomadores de decisiones el peso de las acciones y de las estrategias del manejo de los ecosistemas (Vázquez-González *et al.*, 2016). En países como México, la información sobre el valor monetario también puede clarificar las acciones encaminadas al uso eficiente de los fondos limitados que existen, ya que permite identificar los sitios en donde la protección y restauración es económicamente más importante y se puede proporcionar a un costo más bajo (Crossman y Bryan, 2009). También permite determinar el grado de la indemniza-

ción que debe ser pagada por la pérdida de servicios de los ecosistemas en la figura de pago por compensación ambiental (Payne y Sand, 2011), así decidir cuál es la mejor opción entre distintos proyectos de desarrollo, sobre todo en términos de explotación versus el desarrollo sostenible (Raymond *et al.*, 2009).

Los HCAD en el golfo de México han sido valorados desde la perspectiva monetaria y económica, considerando servicios ecosistémicos tales como el control y/o reducción de las inundaciones en zonas urbanas, la extracción y aprovechamiento de maderas, el almacenamiento y oferta de agua, la pesca ribereña, el cultivo de caña de azúcar, la reducción de emisiones de carbono, la

cría de ganado, el pago por conservación de humedales costeros, los materiales para la construcción de casas y el uso de las plantas medicinales (tabla 5). Se pueden observar diferencias en el valor económico estimado por el control y/o reducción de inundaciones en zonas urbanas entre Vázquez-González *et al.* (2016) y Vázquez-González *et al.* (en prensa); ello se debe al tamaño de muestra tomado por ambos análisis en la misma área de estudio. Este es el servicio con el valor monetario más alto. Ello se debe a la relación directa con los daños y la protección del capital físico (Qasim *et al.*, 2016), humano, social y económico (Kim y Choi, 2011) que estos ecosistemas ayudan a mantener.

Tabla 5. Valor monetario (en dólares) de los servicios ecosistémicos por tipo de humedal costero de agua dulce en el golfo de México.

Servicio ecosistémico valorado	Humedal costero de agua dulce por tipo de vegetación				
	Popal	Tular	Selva inundable	Palmar inundable	Potrero inundable
(1) Control y/o reducción de inundaciones en zonas urbanas	190 863	190 863	N/E	N/E	148 277
(2) Control y/o reducción de inundaciones en zonas urbanas	155 629	155 629	154 438	91 798	108 216
(2) Extracción y aprovechamiento de maderas	N/E	N/E	19 824	N/E	2 601
(2) Almacenamiento y oferta de agua	7 948	4 751	8 222	N/E	N/E
(2) Pesca ribereña	5 394	2 401	5 066	825	
(2) Cultivo de caña de azúcar	3 420	3 420	3 420	3 420	2 187
(2) Reducción de emisiones de carbono	1 570	1 036	1 651	N/E	N/E
(2) Cría de ganado	345	345	345	345	320
(2) Pago por conservación de humedales costeros	26	26	26	26	N/E
(2) Materiales para construcción de casas	N/E	N/E	N/E	N/E	4 375
(2) Plantas medicinales	N/E	N/E	N/E	N/E	739

(1) Tomado de Vázquez-González *et al.* (en prensa). (2) Tomado de Vázquez-González *et al.* (2016).
 (*) Todas las cifras están expresadas en \$USD ha⁻¹ 2007, es decir, son valores estandarizados al 2007.
 N/E. Valor monetario no estimado.

Es fundamental proteger los HCAD a través de la conservación de su régimen hidrológico (Moreno-Casasola *et al.*, 2016a), siendo ésta la función ecológica básica para el sostenimiento de todos los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos derivados. De tal forma que al proteger el régimen hidrológico para el control y/o reducción de las inundaciones, indirectamente se pueden conservar servicios ecosistémicos como la biodiversidad y la pesca ribereña (tabla 5), la cual, en el caso del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, representa la base de la economía local-regional (Vázquez-González *et al.*, 2015).

La pérdida de humedales

La pérdida de humedales en el país se debe a varias causas que incluyen desde la desecación ya sea por drenaje, elevación del nivel del suelo, recubrimiento con geotextiles (con la finalidad de realizar actividades agropecuarias y desarrollos inmobiliarios), construcción de obras de infraestructura que taponan y modifican los patrones de flujo de agua, represamiento, canalización, dragado y extracción de agua, contaminación e invasión de especies (Moreno-Casasola, 2008; Landgrave y Moreno-Casasola, 2012).

El cambio en el uso del suelo en las zonas media y alta de las cuencas hidrológicas es causa indirecta de la pérdida de humedales. La deforestación en la cuenca está relacionada con el aumento de la sedimentación en la cuenca baja. Una alta cantidad de sedimentos se depositan en las partes más bajas de la cuenca, donde se ubican los HCAD, generando acreción vertical que disminuye los niveles de inundación. Por otro lado, el uso excesivo de fertilizantes en la cuenca genera la eutrofización de los cuerpos de agua dulce de la cuenca baja, lo que se relaciona con el crecimiento desmedido

de malezas acuáticas como lirio (*Eichhornia crassipes*), lechuguilla (*Pistia stratiotes*) y chichicastle (*Salvinia* spp.)

La calidad de los humedales también es afectada por incendios recurrentes. El incendio puede iniciar en el humedal herbáceo y de allí continuarse a la selva inundable y al manglar (Barrios-Calderón, 2015). Se determinó que la carga de combustibles leñosos fue similar en las selvas inundables (63.19-151.87 t·ha⁻¹) y en los manglares (88.81-152.38 t·ha⁻¹) de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, por lo que estos dos humedales arbóreos tienen el mismo potencial de incendiarse (Barrios-Calderón *et al.*, 2018). Una práctica común en los HCAD de Pantanos de Centla (Tabasco) y en La Encrucijada (Chiapas), es provocar incendios durante la época de secas para estimular la salida de tortugas y capturarlas para la venta. Es una actividad ilícita que provoca mortandad de una gran cantidad de fauna acuática.

Restauración y especies invasoras

Los humedales son ecosistemas especialmente susceptibles de ser invadidos por malezas que, al aumentar rápidamente su abundancia y cobertura, alteran la estructura del hábitat, los ciclos de nutrientes y la productividad entre otras, provocando también la pérdida de diversidad de especies. Este patrón se exagera por la alteración de la hidrología característica del humedal y la contaminación del agua que drena desde zonas agrícolas, urbanas e industriales (Zedler *et al.*, 2004).

En un humedal arbóreo del golfo de México, la expansión y dominancia del pasto nativo *L. hexandra* que puede ser catalogado como una maleza, modifica el ambiente formando capas densas de biomasa seca que

se acumulan sobre el suelo, impidiendo la entrada de propágulos de especies nativas de selva inundable como el zapote reventón (*P. aquatica*). Por lo tanto, sus semillas no pueden germinar ni sus plántulas establecerse, siendo muy difícil que la regeneración natural se lleve a cabo. Ello hace imprescindibles las acciones de restauración. Durante las experiencias de restauración de este ecosistema, el manejo de estas malezas, principalmente pastos y trepadoras, ha sido uno de los mayores desafíos (López Rosas *et al.*, 2010; Sánchez-Luna, 2018; Aguirre-Franco, 2019). El monitoreo de estos proyectos de restauración y el estudio de la ecología de estas malezas ha permitido esclarecer la magnitud de su efecto y plantear recomendaciones para implementar estrategias de manejo con éxito.

El trasplante de plántulas de árboles es una de las actividades de restauración, sin embargo, su supervivencia disminuye cuando los pastos y trepadoras compiten con ellas por espacio y luz. En las primeras etapas del establecimiento de plántulas el pasto nativo *L. hexandra* puede ser un mejor competidor y no permitir que la plántula se establezca. En el caso de las trepadoras, crecen sobre los árboles plantados (en todas sus etapas), impidiendo la entrada de luz, lo que les provoca la muerte (Sánchez-Luna, 2018; Vázquez-Benavides, 2019). Se ha establecido que la proliferación de la enredadera *Ipomoea tiliacea* en áreas de restauración de selva inundable es una de las principales barreras para el establecimiento de los árboles plantados, inclusive cuando es cortada al inicio del proceso, debido a que tiene la capacidad de regenerarse rápida y abundantemente a partir del rizoma remanente en el suelo (Sánchez-Luna, 2018; Aguirre-Franco, 2019). Esta capacidad de regeneración, así como la velocidad con la

que acumulan biomasa, sin embargo, disminuye en cuanto los niveles de inundación son relativamente altos. Esto permite plantear que priorizando las áreas de menor elevación en el humedal para llevar a cabo la restauración de la selva y removiendo a *I. tiliacea* durante las temporadas más húmedas, se puede disminuir su regeneración y crecimiento y, por lo tanto, aumentar la probabilidad de supervivencia de los árboles plantados (Aguirre-Franco, 2019).

Otra causa de invasión de humedales por especies vegetales es la introducción de pastos forrajeros para convertir los HCAD en pastizales para ganado bovino (López-Rosas *et al.*, 2005, 2006). Esta práctica está bastante extendida en las zonas costeras del centro y sur de Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas. Una especie muy común en esta práctica es el zacate alemán (*Echinochloa pyramidalis*), pasto originario de los humedales de África, que tiene la capacidad de desplazar a las especies nativas, formar masas densas de vegetación, elevar los niveles del suelo y modificar el hidropedimento por tener una tasa alta de aprovechamiento de agua. Una vez que se establece en los humedales, es muy difícil que la vegetación nativa se recupere, por lo que son necesarias actividades de restauración que incluyen la eliminación de la capa vegetal por chapeo y la recuperación de los niveles de inundación para asegurar la recuperación de la vegetación nativa (López Rosas *et al.*, 2010; Moreno-Casasola *et al.*, 2016b; López-Rosas *et al.*, 2019).

En humedales de la Reserva de Biósfera de La Encrucijada se ha observado el establecimiento natural en selvas y manglares de la palma africana (*Elaeis guineensis*) por lo que es necesario determinar el potencial invasor y los efectos en los humedales nativos (D. Infante-Mata, com. personal).

Uso de especies de humedales

Desafortunadamente, el trabajo y la información generada sobre las especies útiles de los ecosistemas de HCAD no se corresponde con su importancia. Las palmas se encuentran entre las especies más utilizadas. Diversas partes de *Attalea butyracea* (coyol real) son usadas: las hojas para techar y para artesanías y objetos religiosos, los frutos como alimento al ganado, el endospermo para hacer atole y se agrega a la masa de las tortillas, los troncos como soporte para mantener la estabilidad de las casas y las

palmas en pie en los potreros proveen de sombra al ganado (González-Marín *et al.*, 2012a,b). González-Marín *et al.* (2012a) analizaron las causas de la pérdida de tradiciones en el uso de la palma de coyol real y recuperaron recetas tradicionales de la cocina costeña. Lazos *et al.* (2016) y González-Marín *et al.* (2016) entrevistaron a los pobladores de Jamapa y obtuvieron un listado de especies y sus usos. La utilización de las especies implica un rico acervo de conocimiento etnobiológico que se está perdiendo aceleradamente.

Lo que no sabemos

Se requiere mucha más investigación para conocer, manejar y proteger los HCAD, y en general los ecosistemas costeros en México. La zona costera sigue sin reconocerse como un territorio con varios ecosistemas con características específicas y únicas que requieren de un manejo particular. Ejemplo de ello es el Capital Natural de México de CONABIO, donde todos los ecosistemas costeros se incluyen en un solo capítulo (Lara-Lara *et al.*, 2008). Con respecto a los HCAD, mucha de la información generada pertenece a una región de México (Veracruz/Tabasco). Hay gran desconocimiento de cómo funcionan estos humedales en el resto del país. A continuación, se explican algunas líneas de trabajo para garantizar su existencia y conservación.

i) Son varias las razones que dificultan tener mapas adecuados. Entre las más importantes se encuentra la misma naturaleza fragmentada de los HCAD, que dependerá del paisaje y de los regímenes hídricos que

resultan en complejos de distintos tipos de humedales. Los problemas técnicos comienzan en la elección de la escala de trabajo. Escalas pequeñas como 1:250 000 e incluso medianas con 1:50 000, dejan fuera a una gran parte de los HCAD, pues al distribuirse de manera fragmentada, normalmente se generalizan a las clases que los rodean.

La calidad de los insumos (imágenes de satélite) para una buena clasificación automatizada dependerá de su calidad (la menor interferencia posible -con poca nubosidad y poca interferencia atmosférica, que corresponde al tiempo de secas). Sin embargo, este criterio es una desventaja para la determinación real de las zonas sujetas a inundación. Para determinar la superficie real de los humedales, una buena imagen debería considerar la menor nubosidad durante la estación lluviosa (o inmediatamente posterior a ella), para que permita más claramente la determinación de la amplitud de los límites reales de las zonas inun-

dables, pues hay que recordar que los HCAD incluyen tanto humedales transformados a potreros como naturales.

Un último problema a considerar en el mapeo es la variabilidad de la distribución de los tipos de vegetación, es decir la heterogeneidad de las especies que los componen. La dominancia o heterogeneidad de las especies a través del tiempo dependerá de los aportes del agua dulce y los tiempos de inundación. Por estas razones, los esfuerzos actuales de identificación por sensores remotos de los HCAD han tenido resultados subestimados, pues sólo han sido capaces de discriminar humedales con poblaciones homogéneas y con distribuciones amplias.

ii) La conservación de los humedales requiere mantener los flujos de agua superficial y subterránea que los originan y mantienen tanto en cantidad como en calidad, así como identificar sus entradas y salidas. Se requieren más estudios sobre balances de agua de humedales específicos en cada región, lo cual es distinto del balance de agua de la cuenca. Se debe determinar la dependencia de fuentes superficiales y/o subterráneas. La cuantificación de acuíferos someros es importante para el manejo sustentable de agua superficial-agua subterránea y su interacción con humedales (Dwandel *et al.*, 2003). Asimismo, el estudio del agua subterránea se ha enfocado en determinar las zonas susceptibles para la extracción del agua para consumo humano (industrial, agrícola, público-urbano), sin embargo aún se desconocen las redes de flujos que interactúan con los cuerpos de agua superficial. Estos sistemas son de gran importancia para garantizar el derecho humano al agua, ya que los pozos someros (norias) intervienen en este tipo de flujo y

la presencia de humedales está relacionada frecuentemente con descargas de agua subterránea. Para ello se requiere identificar el origen de las entradas superficiales y subterráneas que alimentan a estos ecosistemas y en conjunto con los balances hidrológicos e hidrogeoquímicos, establecer la dependencia de cada humedal a nivel de cuenca y por tanto, la escala a la que deben de protegerse (local, estatal y/o federal).

iii) Hay muy poco trabajo sobre la fauna de humedales de agua dulce. Peralta-Peláez *et al.* (2007) analizaron la biodiversidad de insectos acuáticos en humedales de lagos interdunarios de Veracruz. Cázares (2015) monitoreó las poblaciones de tortugas de agua dulce en un humedal en restauración y en humedales conservados, reportando ocho especies. González-Marín (2013) trabajó la distribución de tortugas de agua dulce en HCAD y en potreros. Los manatíes de la reserva de Biosfera Pantanos de Centla durante la temporada de lluvias y al incrementarse la profundidad del río Usumacinta migran río arriba hacia la laguna de Playas de Catazajá, al igual que el robalo y otras especies de peces que dependen de la conectividad del río desde la planicie de inundación de los HCAD hacia río arriba para completar ciclos biológicos (DECE, 2018). En el sistema de humedales de laguna de Términos-Pantanos de Centla se registraron 31 especies de mamíferos medianos y grandes, sobresaliendo el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Puma concolor*), el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) y el pecarí (*Tayassu pecari*) (Hidalgo-Mihart *et al.*, 2017). Semillas y frutos de especies de árboles de las selvas inundables son alimento para monos aulladores y guacamayas (Infante-Mata, com. pers.).

iv) La relación de los HCAD con la sociedad ha sido poco investigada. Báez Ponce y Estrada Lugo (2014) analizaron las percepciones de los habitantes de Alvarado, Veracruz, a través de la fotografía participativa. Por medio de un proceso de reflexión y construcción de historias con imágenes, mujeres y hombres describen percepciones, preocupaciones, sueños y pasiones sobre su territorio y cooperativas. Marín-Muñiz *et al.* (2016) trabajaron con grupos de distintas edades para ver las percepciones que guardaban sobre los servicios ambientales y la pérdida de humedales. González-Marín *et al.* (2012b) y Lazos *et al.* (2016) se enfocaron a los usos de las especies arbóreas

y palmas.

v) Se requieren muchas más experiencias de restauración de HCAD. La problemática para su restauración es muy distinta. En las zonas áridas se requiere llevar agua dulce, en el trópico húmedo hay un crecimiento desmedido de algunas especies nativas que se convierten en invasoras (*Typha* spp., *Phragmites australis*, *P. stratiotes*), en otros humedales hay invasión de especies exóticas (pastos africanos como *E. pyramidalis*, *Pennisetum purpureum*, flotadoras como *E. crassipes*, *Salvinia molesta*, *Hygrophila corymbosa*, entre otras).

La problemática

Los problemas ambientales y socio-ecológicos se suscitan por la falta de acciones, pero también por las malas decisiones y los manejos inadecuados. El mal manejo de los humedales y las malas decisiones sobre estos ecosistemas han traído un deterioro importante en la vida de los pobladores locales, y han incrementado el gasto de los gobiernos de los distintos niveles y de los propios pobladores. A continuación se describen los principales.

- Los caminos y carreteras que cruzan humedales y que no cuentan con suficientes pasos de agua cambian los regímenes de inundación, desecando de un lado e inundando de más el otro. Ello trae cambios en las actividades agropecuarias y alteraciones en las economías locales, *i.e.* Ciénaga del Fuerte. Cuando esto se da en las ciudades, provocan inundaciones en colonias donde antes no se inundaban, afectando el patrimonio

y la salud física y mental de las personas. Esta situación se hace más crítica al otorgar permisos de construcción en humedales pensando que es posible desviar el agua (Neri-Flores *et al.*, 2017, en prensa).

- En el caso de Chiapas se ha decidido realinear los ríos y construir bordos a los lados con la intención de reducir las inundaciones en los poblados. Estas acciones han traído deterioro de humedales de agua dulce y de manglares (Tovilla, 2005), por ejemplo, las modificaciones realizadas en el río Cacaluta (Hernández, 2014), el río Cintalapa (Carbajal, 2014) y el río Vado Ancho (Gálvez, 2017).
- La pérdida de la protección del servicio ecosistémico de salvaguarda de inundaciones y de otros como depuración de agua, de alimentación del manto freático en la zona costera y de contención

de la cuña marina repercute en la calidad de vida de los habitantes costeros (ciudades, zonas rurales y desarrollos turísticos). Actualmente los manglares y los HCAD y aún los degradados como los potreros inundables, almacenan el agua de lluvia y de los escurrimientos superficiales y subterráneos, percolándola lentamente al manto freático. Ello ayuda a reducir los picos de inundación y acumula agua dulce para contener la entrada de la cuña salina. El agua que se filtra por los humedales se va limpiando y llega con mejor calidad al manto freático, y por tanto a nuestros pozos, norias y lagunas costeras. Conforme se reduce la superficie de los HCAD estos beneficios decrecen, aumentando la vulnerabilidad de las poblaciones, la necesidad de infraestructura para reducir el impacto de inundaciones, aumentar el número de plantas de tratamiento para mejorar la calidad del agua, mayores servicios médicos para contender con enfermedades estomacales, entre otros.

- Deterioro de la salud de los pobladores por el contacto con agua contaminada, por ingerir alimentos provenientes de sistemas acuáticos contaminados (*e.g.* con herbicidas: Cejudo, 2006; Cejudo *et al.*, 2009; metales pesados: Ramos-Rosas *et al.*, 2013), incremento en enfermedades transmitidas por mosquitos como el dengue, chikungunya, zika y fiebre amarilla al degradarse los humedales y convertirse en depósitos de agua sucia, que es donde se procrean los mosquitos transmisores (Rivera-García, 2018; Sergio Ibáñez com. pers.).
- Se genera una reducción de la capacidad de mitigación del cambio climático al ir perdiendo los mayores depósitos de carbono. Los cambios hidrológicos en los

HCAD al ser transformados a potreros, estimulan la degradación de la materia orgánica del suelo y la liberación de metano y bióxido de carbono que son gases de invernadero (Hernández *et al.*, 2015). Ello impide que México pueda cumplir con los compromisos internacionales como los Acuerdos de París.

- Hay una pérdida de hábitat de flora y fauna dependiente de los humedales, es decir pérdida de biodiversidad. Las invasiones biológicas reducen el número de hidrófitas nativas, generando un ecosistema dominado por una sola especie que generalmente no ofrece los recursos requeridos por la fauna, provocando su migración hacia humedales en mejores estados de conservación. La invasión por animales también tiene efectos negativos sobre las redes tróficas en los sistemas acuáticos; por ejemplo, en los humedales costeros de agua dulce de Tabasco hay una alta incidencia de fauna exótica invasora como la tortuga pintada o japonesa *Trachemys scripta elegans* (Lowe *et al.*, 2004), la carpa herbívora *Ctenopharyngodon idella* (Rangel-Ruiz *et al.*, 2011) y pez diablo o plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) (Barba-Macías, 2010). Mantener la biodiversidad, es decir un alto número de especies, es una alternativa de gran valor para enfrentar las incertidumbres que el cambio climático produce.
- Reducción de actividades económicas fundamentales para la seguridad alimentaria como pesquerías (Vázquez-González *et al.*, 2015) y uso de vida silvestre (González-Marín *et al.*, 2017), disminución de entradas económicas para los pobladores (ecoturismo, recreación).

La vinculación y divulgación de información a la sociedad es de gran importancia para ir generando soluciones. La sensibilización de la sociedad y de los tomadores de decisiones requiere de esfuerzos de apropiación del conocimiento generado. En

la página www.cienagasyhumedales.org un conjunto de investigadores busca conjuntar información accesible a la sociedad sobre estos ecosistemas, haciendo hincapié en la relación entre la sociedad y los humedales.

Los indicadores y alcances de monitoreo de la problemática

Existen varios indicadores que permiten monitorear y ver si la problemática particular que afecta a los HCAD se incrementa o se reduce en función de indicadores. Ello per-

mite evaluar si las medidas instrumentadas son las adecuadas. En la tabla 6 se enlistan los indicadores sugeridos y sus objetivos.

Las lecciones aprendidas

La ganadería en humedales altera la biodiversidad, materia orgánica, compacta el suelo, reduce los depósitos de carbono almacenado y fomenta la liberación de gases de invernadero (Hernández *et al.*, 2015; Moreno-Casasola, 2016; Moreno-Casasola *et al.*, 2012b, 2019; Rodríguez-Medina y Moreno-Casasola 2013; Rodríguez-Medina *et al.*, 2017). Para mantener estos depósitos de carbono, es necesario conservar el hidropereodo natural, con meses de secas en donde el nivel del agua disminuye, lo que permite condiciones del suelo menos reducidas que mitigan las emisiones de metano sin que se oxide rápidamente el carbono. Conservar el hidropereodo también favorecerá mantener la vegetación hidrófita que seguirá aportando materia orgánica al suelo, la cual en los meses inundados se descompondrá muy lentamente permitien-

do la acumulación de carbono, evitando la emisión de gases.

Las inundaciones son una constante en la zona costera de México. En esta región el mayor incremento en población se da en las ciudades, y su población es cada vez más vulnerable. El incremento en el número y fuerza de los huracanes y en el nivel del mar ($1.9 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, Zavala *et al.*, 2010) hacen imprescindible que las ciudades costeras tomen medidas. El caso de la conurbación Veracruz-Boca del Río fue analizado por Neri-Flores *et al.* (2014) y por Vázquez-González *et al.* (en prensa).

Los HCAD tienen un alto valor económico debido a los diferentes servicios ecosistémicos que brindan a la sociedad (Vázquez-González *et al.*, 2016 y Vázquez-González *et al.*, en prensa). Los resultados mostrados en la tabla 5 pueden servir

Tabla 6. Indicadores de las condiciones y funcionamiento de los humedales costeros de agua dulce (HCDA) que permiten analizar la problemática que los afecta y llevar a cabo su seguimiento.

Indicador	Consideraciones	Objetivo
Superficie de humedales	Generación de un mapa base confiable y consensado como punto de partida de monitoreos periódicos tanto a escala local como regional. En la escala local se debe trabajar en un sistema en redes sociales de reportes <i>in situ</i> de perturbación de humedales, originados y actualizados con los reportes de la ciudadanía, academia o proyectos gubernamentales. A nivel regional y con base en la información generada localmente se propone la elaboración de mapas para corroborar las afectaciones. Además deben programarse actualizaciones del mapa base cada determinado tiempo.	Garantizar que se mantiene la misma superficie conservada de HCAD.
Capacidad de almacenamiento de carbono y de agua en el suelo	Monitorear el mantenimiento de los depósitos de carbono en el suelo, lo cual está correlacionado con su capacidad de almacenar agua, mediante análisis de imágenes e inventarios de puntos de muestreo que indiquen que no se está incrementando la pérdida de humedales. También existen alternativas de monitoreo de la subsidencia que permiten este análisis (Sowter <i>et al.</i> , 2016).	Garantizar mantenimiento de servicios ecosistémicos de mitigación del cambio climático, protección de inundaciones, depuración del agua, alimentación del manto freático, penetración de cuña salina.
Caudales ambientales	Incluir el agua subterránea en los cálculos de caudales ambientales. Establecer caudales ambientales y reservas de agua donde no se han realizado (Norma oficial mexicana: NMX-AA-159-SCFI-2012). Monitoreo para el mantenimiento de los que ya existen y hacer los cálculos donde no existen.	Asegurar que se mantiene una dinámica de los ríos y del agua subterránea que garantiza una adecuada gestión del agua para los pobladores y para la conservación de la flora y fauna, entre ellos los HCAD.
Calidad del agua	Mejorar la gestión del agua tanto en la calidad del agua superficial como subterránea y la cantidad, incluyendo la gestión de los acuíferos de influencia de los humedales así como las zonas de origen del agua que descarga en estos ecosistemas.	Mejorar la calidad de vida de los pobladores y el hábitat de flora y fauna de los HCAD, algunos de los cuales son fuente de alimento de los habitantes de la costa.
Bases de datos	Contar con bases de datos públicas y transparentes, así como indicadores, sobre descargas de ríos, calidad del agua, mapas de humedales, etc. que sean analizadas periódicamente y los resultados publicados, haciendo comparaciones en el tiempo.	Las bases de datos deben tener información obtenida con métodos rigurosos y ser transparentes y verificables por la sociedad.

para los tomadores de decisiones y para los actores interesados —como los propietarios de la tierra— en la ejecución de estrategias y acciones que conlleven el manejo de los recursos naturales desde la perspectiva ecosistémica. Esta perspectiva no sólo considera los aspectos de las actividades económicas directas, sino la relación indirecta que tie-

nen los servicios ecosistémicos con dichas actividades. Esto tiene la finalidad de protegerlas y preservarlas, así como mantener servicios ecosistémicos como la pesca ribereña, una actividad económica comercial y de subsistencia de numerosas comunidades del país.

La principal degradación de los humedales se produce por los cambios en la cantidad, calidad y temporalidad (hidroperiodo) del agua superficial y/o subterránea que alimenta al humedal. El agua en las zonas costeras proviene de escurrimientos superficiales y sistemas de flujo subterráneos (Neri-Flores, 2017; Tóth, 1999; Winter, 1999) por lo que continuará llegando aún con los cambios que se hagan en un hume-

dal particular (relleno, drenaje, etc.), pero con modificaciones de cantidad y calidad.

Las invasiones biológicas causan fuertes alteraciones en el funcionamiento de los humedales, incluyendo aquellas especies forrajeras que tienen valor comercial.

La restauración de los HCAD es factible. En este sentido, el control y manejo de las fuentes de agua y del hidroperiodo es fundamental.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

En esta sección se enlistan varias recomendaciones y su ámbito de aplicación (tabla 7). También se discute el problema de la gobernanza de los HCAD. Las recomendaciones permiten ir solucionando algunos de los problemas y construyendo el camino hacia la gobernanza.

Es fundamental construir la transversalidad entre las dependencias que toman decisiones sobre los humedales a nivel federal, así como a nivel estatal y municipal, y entre los tres niveles (figura 8). De manera particular hay problemas fundamentales a nivel de instituciones de gobierno. Los humedales arbóreos son competencia de CONAFOR y los herbáceos de CONAGUA. Sin embargo, en la naturaleza ambos humedales conviven lado a lado, formando frecuentemente complejos de humedales que dependen del flujo de agua. La conservación y restauración dependen de estos flujos y ambos son regidos por la Ley Nacional de Aguas. No obstante, actualmente solo hay programas de restauración de humedales arbóreos, los herbáceos se siguen considerando malezas y frecuentemente son drenados o se dan permisos para rellenar y construir sobre ellos. El ciclo del agua y el manejo de cuencas

solo contemplan y dan importancia a las zonas de recarga, pero se ignoran las zonas de descarga donde aflora el agua y se establecen los HCAD tanto arbóreos como herbáceos.

Los usuarios directos son los relacionados con las actividades primarias (agricultura, ganadería, pesca), ecoturismo comunitario y particular, desarrollo inmobiliario, etc. los cuales funcionan a través de usos y costumbres, lo que frecuentemente conlleva conflictos. Además, hoy en día existen intereses por parte de grupos conservacionistas y de investigación. Algunos pobladores están conscientes de la importancia de los humedales para la recarga de agua y la contención de inundaciones, por lo que buscan su conservación. La cantidad de usuarios e interesados en estos ecosistemas y las diversas actividades que se realizan en ellos generan conflictos locales, para los cuales no hay marcos reguladores ni usos y costumbres que garanticen su uso sustentable.

Actualmente hay diversos instrumentos legales que incluyen los HCAD (figura 8). Sin embargo, no abarcan la variedad de humedales existente, los usos que se dan, los intereses y conflictos que se producen

Tabla 7. Recomendaciones sugeridas para la conservación y manejo de los humedales costeros de agua dulce (HCAD) para garantizar el mantenimiento de sus servicios ecosistémicos.

Recomendaciones	Ámbito
i. Ser conscientes de la importancia de los humedales costeros, tanto salobres como HCAD, en escenarios de cambio climático (aunados a los cambios en el uso del suelo), para la protección de la población y de sus medios de vida y como parte de su bienestar.	Educación y concienciación (la población en general, a ONGs y tomadores de decisiones)
ii. Valorar que el gradiente de humedales costeros, que incluye el manglar, la selva inundable y los humedales herbáceos en su conjunto, proporcionan servicios invaluable a la sociedad, no solamente en la zona costera sino en todo el país.	Educación y concienciación
iii. Protección de las selvas inundables y restauración de las selvas perdidas, con el mismo rigor con que se ha hecho en los manglares.	Legal e institucional, políticas públicas
iv. Conservación de los humedales herbáceos de agua dulce y desarrollo de proyectos productivos alternativos para evitar mayor ganaderización.	Políticas públicas
v. Las especies invasoras producen fuertes daños ambientales, por lo que toda introducción debe ser cuidadosamente analizada y valorada. Tomar medidas para las especies ya presentes para evitar que se sigan diseminando.	Educación y concienciación, legal e institucional
vi. Emplear tratamientos de aguas no convencionales como los humedales artificiales, como sistemas de tratamientos de aguas residuales en casas individuales en pequeñas comunidades. Convertirlos en parte de las Buenas Prácticas de Manejo (BPM), como cinturones verdes que permitan tratar fuentes difusas en las zonas dedicadas a la agricultura.	Políticas públicas
vii. Para el control de inundaciones, analizar de manera integral (social, económica y ambiental) las medidas puramente de ingeniería, las de protección basadas en la naturaleza y el uso conjunto de ambas, para garantizar la mejor solución específica para cada problema.	Políticas públicas
viii. Fortalecer los sistemas de monitoreo (estaciones hidrométricas, piezométricas, climatológicas y de calidad de agua), estableciendo bases legales para su calidad y frecuencia, con una apertura institucional que facilite el acceso de los datos.	Legal e institucional
ix. El manejo de cuencas debe tomar en cuenta la zona alta de infiltración de agua pero también la zona baja donde se ubican los humedales. El manejo de los HCAD debe considerar que los ciclos de agua (local y global), son fuertemente dependientes de los humedales (Russi <i>et al.</i> , 2013) por la cantidad de agua que regresan a la atmósfera (evapotranspiración) y que precipitará cuenca arriba.	Legal e institucional
x. Establecer instrumentos económicos como pagos por servicios ambientales, precios de compensación con base en valoraciones económicas, venta de bonos de carbono, entre otros.	Legal e institucional, políticas públicas
xi. Instrumentar la política de cambio climático de adaptación con base en ecosistemas y comunidades, con el fin de utilizar los servicios de los ecosistemas para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones costeras y mejorar su bienestar, a nivel federal, estatal y municipal.	Legal e institucional
xii. Incluir en los planes de desarrollo urbano municipales, instrumentos para evitar la construcción sobre humedales y fomentar los ordenamientos territoriales de los municipios costeros.	Legal e institucional
xiii. Construir la transversalidad entre las dependencias que toman decisiones sobre los humedales a nivel federal así como a nivel estatal y municipal, y entre los diferentes niveles.	Políticas públicas

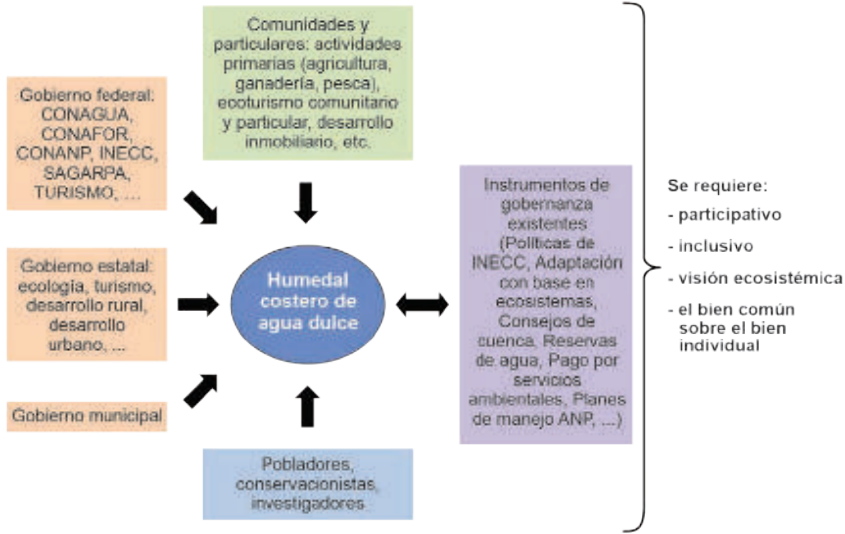


Figura 8. Esquema de gobernanza mostrando los distintos actores que tienen intereses en los humedales costeros de agua dulce así como los instrumentos de gobernanza aplicables. Se indica además la necesidad de hacer un sistema más participativo e inclusivo, bajo una visión ecosistémica que incluya el gradiente hidrológico y su dinámica y la necesidad de tomar en cuenta el bien común sobre el bien individual, debido a la necesidad de conservar los servicios ecosistémicos.

en ellos entre los diversos sectores de la sociedad, las necesidades de conservación y restauración de los servicios ecosistémicos y la gran cantidad de instituciones relacionadas. Como parte de CONANP, existe el Consejo de Humedales donde hay representantes de varios de los sectores mencionados y se trabaja de manera conjunta para buscar soluciones a algunos de estos problemas. Es un primer foro donde se reúnen los diversos involucrados.

La gobernanza de estos ecosistemas depende de la participación de los distintos sectores y grupos que tienen intereses, y debe darse a nivel local, regional y nacional. Los esfuerzos gubernamentales se han encaminado sobre todo a especies, y pocas veces a ecosistemas. Solamente las áreas naturales protegidas tienen planes de manejo a nivel de ecosistemas. Es necesario desarrollar una visión ecosistémica de la zona costera que permita su manejo sustentable

y el mantenimiento de sus servicios ecosistémicos. Los HCAD son una parte de esta zona, pero debe verse el conjunto con sus flujos de agua y sedimentos, y sus variaciones de salinidad. Ello es lo que le da vida y la mantiene.

El caso de los manglares muestra los resultados de alinear un conjunto de políticas e instituciones. Es el único ecosistema protegido, la investigación nacional ha generado gran cantidad de información que permite su conservación, su deforestación se ha reducido drásticamente, en muchas regiones se está restaurando activamente con una participación importante de la comunidad y finalmente, la sociedad y los tomadores de decisiones conocen y valoran su existencia, su importancia económica y sus servicios ecosistémicos. Es necesario alinear de esta misma manera las instituciones y las políticas para valorar, conservar y restaurar los HCAD.

Literatura citada

- Adame, M.F., J.B., Kauffman, I. Medina, J.N. Gamboa, O. Torres, J.P. Caamal, M. Reza, y J.A. Herrera-Silveira, 2013. Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. *Plos One*, 8 (2): 1-13.
- Adame, M.F., N.S. Santini, C. Tovilla, A. Vázquez-Lule, L. Castro, y M. Guevara, 2015. Carbon stocks and sequestration rates in tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*, 12: 3805-3818.
- Aguirre-Franco, L.D., 2019. Regeneración y crecimiento de dos plantas trepadoras herbáceas en áreas destinadas para la restauración de selva inundable en la planicie costera del centro del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UNAM, Morelia, Mich. 43 p.
- Báez-Ponce, M. y E.I.J. Estrada-Lugo, 2014. Miradas desde el humedal. Fotografía participativa con pescadoras y pescadores del sistema lagunar de Alvarado. *Culturales* (Univ. Aut. de Baja California, Mexicali) II (1): 9-48.
- Barba-Macías, E., 2010. Situación actual de los recursos acuáticos en Tabasco: Impacto económico y social de los plecos (Loricáridos). p. 58. In: Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- Barba-Macías, E., M. A. Alva-Juárez, y L. G. Calva-Benítez, 2013. Guía ilustrada para la identificación de plantas acuáticas en humedales de Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur, Villahermosa, Tab. 111 p.
- Barrios-Calderón, R. J. 2015. Combustibles forestales y su relación con incendios en humedales de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chis. 238 p.
- Barrios-Calderón, R.J., D. Infante-Mata, J.G. Flores-Garnica, C. Tovilla, S.J. Grimaldi-Calderón, y J.R. García, 2018. Woody fuel load in coastal wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24 (3): 339-357.
- Campos, A., M.E. Hernández, P. Moreno-Casasola, E. Cejudo, A. Robledo, y D. Infante-Mata, 2011. Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8): 1388-1406.
- Carbajal, E.S.S., 2014. Evaluación del impacto del azolvamiento en la Laguna Cerritos a partir de la canalización de Río Cintalapa. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chis. 111 p.
- Carral-Murrieta, C. O, 2019. Germinación de semillas y crecimiento de plántulas de *Attalea butyracea* (Arecaceae) en potreros inundables derivados de humedales del municipio de Jamapa, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver. 87 p.
- Cázares, E., 2015. Monitoreo de poblaciones de tortugas dulceacuáticas como parte del proceso de restauración de un humedal del Sitio Ramsar La Mancha y El Llano, Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 67 p.
- Cejudo, E., 2006. Acumulación de atrazina en especies vegetales de un humedal del municipio de Actopan, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias con especialidad en Biotecnología. CINVESTAV. México D.F. 83 p.
- Cejudo, E., A.C. Ramos-Valdivia, F. Esparza-García, P. Moreno-Casasola, y R. Rodríguez-Vázquez, 2009. Short-term accumulation of Atrazine by three plants from a wetland model system. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(2): 201-208.
- Cejudo, E., y K.G. Herrera-Caamal, 2019. Humedales en dolina del norte de Quintana Roo, México: ecosistemas poco conocidos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6 (17): 207-218.
- CONAGUA, 2017. Humedales de la República Mexicana – Inventario Nacional de Humedales (INH), escala 1:250000. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México. Fecha de consulta mayo 2018. Sitio web <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-humedales-inh>.
- Contreras-Espinosa, F., y B.G. Warner, 2004. Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiología*, 511: 233-245.
- Crossman, N.D. y B.A. Bryan, 2009. Identifying cost-effective hotspots for restoring natural cap-

- ital and enhancing landscape multifunctionality. *Ecological Economics*, 68: 654-668.
- Cruz-Zamora, E.D., 2018. Caracterización físico-química de suelos de humedales naturales y perturbados. Tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Álamo Temapache-Xoyolitla, Álamo Temapache, Ver. 82 p.
- DECE, 2018. Documento de Evaluación de Caudal Ecológico Río Usumacinta. CONAGUA-Programa Nacional de Reservas de Agua.
- Dewandel, B., P. Lachassagne, M. Bakalowicz, Ph. Weng, y A. Al-Maki, 2003. Evaluation of aquifer thickness by analyzing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274: 248-269.
- Gálvez, M.M., 2017. Impacto de la canalización del Río Vado Ancho sobre la cuenca baja, Laguna Panzacola y la pesquería. Tesis de Maestría en Ciencias. El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chis. 61 p.
- González-Marín, R.M., 2013. Proponiendo alternativas para la conservación y sustentabilidad en humedales de la planicie costera de Veracruz, México. Tesis doctoral. Instituto de Ecología A. C., Xalapa, Ver. 237 p.
- González-Marín, R.M., P. Moreno-Casasola, R. Orellana y A. Castillo, 2012a. Traditional wetland palm uses in construction and cooking in Veracruz, Gulf of Mexico. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 11(3): 408-413.
- González-Marín, R.M., P. Moreno-Casasola, R. Orellana y A. Castillo, 2012b. Palm use and social values in rural communities on the coastal plains of Veracruz, Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 14 (4): 541-555.
- González-Marín, R.M., A.E. Lazos-Ruiz, B.E. Escamilla-Pérez, A. Juárez-Eusebio, y P. Moreno-Casasola, 2016. El aprovisionamiento. p. 160-184. In: P. Moreno-Casasola (Ed.). Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC. Xalapa.
- González-Marín, R.M., P. Moreno-Casasola, A.A. Castro-Luna y A. Castillo, 2017. Regaining the traditional use of wildlife in wetlands: ensuring food security in the face of global climate change. *Regional Environmental Change*, 17: 1343-1354.
- González-Nochebuena, M., 2015. Banco de semillas de un popal durante el proceso de restauración y su relación con el potencial regenerativo en La Mancha, Actopan, México. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Zacapoaxtla. Zacapoaxtla, Ver. 135 p.
- Hernández, H.J.L., 2014. Caracterización de uso de suelo y evaluación de la calidad riparia del río Cacaluta, Acacoyagua, Chiapas, México. Tesis de Maestría en Ciencias. El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chis. 170 p.
- Hernández, M.E., J.L. Marín-Muñiz, P. Moreno-Casasola y V. Vázquez, 2015. Comparing soil carbon pools and carbon gas fluxes in coastal forested wetlands and flooded grasslands in Veracruz, Mexico. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, II (1): 5-16.
- Hernández, M.E., C.A. Campos, J.L. Marín-Muñiz y P. Moreno-Casasola, 2016. Almacenes de carbono en selvas inundables, manglares, humedales herbáceos y potreros inundables. p. 121-129. In: P. Moreno-Casasola (Ed.). Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC. Xalapa.
- Hernández, M.E., y P. Moreno-Casasola, 2018. Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. *Madera y Bosques*, 24 (núm. Especial): 1-12.
- Herrera-Silveira, J., A. Camacho-Rico, E. Pech, M. Pech, J. Ramírez y C. Teutli-Hernández, 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana*, 34 (1): 61-72.
- Hidalgo-Mihart, M.G., F.M. Contreras-Moreno, A.J. de la Cruz, R. Juárez-López, Y. Bravata, L.A. Pérez-Solano, C. Hernández-Lara, D. Friedeberg, D. Thornton y J.M. Koller-González, 2017. Inventory of medium-sized and large mammals in the wetlands of Laguna de Terminos and Pantanos de Centla, Mexico. *Check List*, 13 (6): 711-726.
- Hu, S., Z. Niu, Y. Chen, L. Li, y H. Zhang, 2017. Global wetlands: potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the Total Environment*, 586: 319-327.
- INEGI, 2016. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). México. Fecha de consulta: Mayo 2018. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>

- Infante-Mata, D., 2004. Germinación y establecimiento de *Annona glabra* (Annonaceae) y *Pachira aquatica* (Bombacaceae) en humedales, La Mancha, Actopan, Ver. Tesis de Maestría en Ecología y Manejo de Recursos. Instituto de Ecología A.C., Xalapa. Ver. 124 p.
- Infante-Mata, D., y P. Moreno-Casasola, 2005. Effect of in situ storage, light, and moisture on the germination of two wetland tropical trees. *Aquatic Botany*, 83(3): 206-218.
- Infante-Mata, D., 2011. Estructura y dinámica de las selvas inundables de la planicie costera central del Golfo de México. Tesis de Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos. Instituto de Ecología A.C., Xalapa. Ver. 179 p.
- Infante-Mata, D., P. Moreno-Casasola, C. Madero-Vega, 2012. Litterfall of tropical forested wetlands of Veracruz in the coastal floodplains of the Gulf of Mexico. *Aquatic Botany*, 98(1): 1-11.
- Infante-Mata, D., P. Moreno-Casasola, y C. Madero-Vega, 2014. *Pachira aquatica*, as indicator of mangrove limit? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1): 143-160.
- Kim, E.S., H.II. Choi, 2011. Assessment of vulnerability to extreme flash floods in design storms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 2907-2922.
- Landgrave, R., y P. Moreno-Casasola, 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación Ambiental*, 4 (1): 35-51.
- Lara-Lara, J.R., J.A. Arreola-Lizárraga, L.E. Calderón-Aguilera, V.F. Camacho-Ibar, G. de la Lanza-Espino, A. Escofet-Giansone, I. Espejel-Carbajal, M. Guzmán-Arroyo, L.B. Ladah, M. López-Hernández, E.A. Meling-López, P. Moreno-Casasola, H. Reyes-Bonilla, E. Ríos-Jara, y J.A. Zertuche-González, 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales, p. 109-134. Vol. 1. In: J. Soberón, G. Halffter y J. Llorente Bousquets (Comp.). Capital Natural de México. Conocimiento Actual de La Biodiversidad. CONABIO, México D.F.
- Lazos-Ruiz, A., P. Moreno-Casasola, S. Guevara, C. Gallardo, y E. Galante, 2016. Use of trees in Jamapa, traditions in a deforested area. *Madera y Bosques*, 22(1): 17-36.
- López-Rosas, H., P. Moreno-Casasola, y I.A. Mendelssohn, 2005. Effects of an African grass invasion on vegetation, soil and interstitial water characteristics in a tropical freshwater marsh in La Mancha, Veracruz (Mexico). *Journal of Plant Interactions*, 1(3): 187-195.
- López-Rosas, H., P. Moreno-Casasola y I.A. Mendelssohn, 2006. Effects of experimental disturbances on a tropical freshwater marsh invaded by the African grass *Echinochloa pyramidalis*. *Wetlands*, 26(2): 593-604.
- López-Rosas, H., F. López-Barrera, P. Moreno-Casasola, G. Aguirre-León, E. Cázares-Hernández y L. Sánchez-Higuero, 2010. Indicators of recovery in a tropical freshwater marsh invaded by an African grass. *Ecological Restoration*, 28 (3): 324-332.
- López-Rosas, H., E. Cejudo, P. Moreno-Casasola, L.A. Peralta-Peláez, M.E. Hernández, C.A. Campos y G. Aguirre-León, 2019. Environmental impact of invasion by an African grass (*Echinochloa pyramidalis*) on tropical wetlands: using functional differences as a control strategy. p. 315-372. In: C. Makowski y C. Finkl (Eds.). Impacts of invasive species on coastal environments. Coasts in Crisis. Coastal Research Library, Vol. 29. Springer Boca Raton, FL. USA
- Lot, A., 2004. Flora y vegetación de los humedales de agua dulce en la zona costera del Golfo de México. p. 521-553. Vol. 1. In: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología, A.C. y Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. México D.F.
- Lot, A., 2012. Las monocotiledóneas acuáticas y subacuáticas de México. *Acta Botánica Mexicana*, 100: 135-148.
- Lot, A., y R.A. Novelo, 1990. Forested wetlands of Mexico. p. 287-298. Capítulo 12. In: A.E. Lugo, M.M. Brinson y S. Brown (Eds.). Forested wetlands of the world. Vol. 15. Ecosystems of the World. Elsevier Scientific Publishing, Co. Amsterdam.
- Lot, A., R.A. Novelo, G.M. Olvera, y P. Ramírez-García, 1999. Catálogo de angiospermas acuáticas de México: hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes. Cuadernos del Instituto de Biología, UNAM. México D.F. 200 p.
- Lot, A., R. Medina-Lemos, y F. Chiang, 2013. Plantas acuáticas mexicanas: una contribución a la Flora de México. Monocotiledóneas. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F. Vol. 1, 398 p.

- Lot, A., M. Olvera, C. Flores, y A. Díaz, 2015. Guía ilustrada de campo. Plantas indicadoras de humedales. UNAM-CONAGUA. México, D.F. 124 p.
- Lowe S., M. Browne, S. Boudjelas, y M. de Poorter, 2004. 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. Grupo Especialista de Especies Invasoras (GEEI), y Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), 12 pp. www.issg.org/bookletS.pdf.
- Marín-Muñiz, J.L., M.E. Hernández, E.S. Rivera, y P. Moreno-Casasola, 2016. Perceptions about environmental services and loss of forested wetlands in Monte Gordo community, Veracruz. *Madera y Bosques*, 22(1): 53-69.
- Martínez, M., y A. Novelo, 1993. La vegetación acuática del estado de Tamaulipas, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 64: 59-86.
- Mitsch, W.J. y J. Gosselink, 2000. Wetlands. John Wiley and Sons Inc. Nueva York. 920 p.
- Mora-Olivo, A., J.L. Villaseñor, I. Luna-Vega, y J.J. Morrone, 2008. Patrones de distribución de la flora vascular acuática estricta en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 435-448.
- Moreno-Casasola, P., 2008. Los humedales en México: tendencias y oportunidades. *Cuadernos de Biodiversidad* No. 28. Universidad de Alicante 10-18.
- Moreno-Casasola, P., 2016. (Ed.). Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz. INECOL- ITTO- CONAFOR- INECC. Xalapa. 360 p.
- Moreno-Casasola, P., E. Cejudo, A. Capistrán-Barradas, D. Infante-Mata, H. López-Rosas, G. Castillo-Campos, J. Pale-Pale, y A. Campos, 2010. Floristic composition, diversity and ecology of freshwater marshes in the central coastal plain of Veracruz, Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87: 29-50.
- Moreno-Casasola, P., D. Infante-Mata, y H. López-Rosas, 2012a. Tropical freshwater swamps and marshes. p. 267-282. In: D.P. Batzer y A.H. Baldwin. (Eds.). Wetland habitats of North America: Ecology and conservation concerns. University of California Press, Berkeley.
- Moreno-Casasola, P., H. López-Rosas, y K. Rodríguez-Medina, 2012b. From tropical wetlands to pastures on the coast of the Gulf of Mexico. *Revista Pastos*, 42(2): 183-215.
- Moreno-Casasola, P., G. Castillo-Campos, D. Infante-Mata, E. Cázares-Hernández, G. Aguirre-León, F. González-García, y M. Gerwert-Navarro, 2015. Plantas y animales de las costas de Veracruz. Una guía ilustrada. Colección Veracruz Siglo XXI. Serie Patrimonio Natural. Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Xalapa, 542 p.
- Moreno-Casasola, P., M.E. Hernández, A. Campos, C. Vázquez-González, R.M. González Marín, y A. Lazos Ruiz, 2016a. Saving freshwater flooded forests in Mexico. *Tropical Forest Update*, 25: 22-25.
- Moreno-Casasola, P., H. López-Rosas, J. Vázquez-Benavides, F. López-Barrera, V. Espejel-González, y L. Sánchez-Higuero, 2016b. Restauración de un popal: estado de la vegetación y condiciones ambientales después de siete años del manejo de una gramínea invasora. p. 433-455. In: E. Cecon y C. Martínez Garza (Coords). Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM-CONABIO. México, D. F.
- Moreno-Casasola, P., M.E. Hernández, A. Campos, C. Vázquez González, H. López-Rosas, L.A. Peralta-Peláez, y R. Monroy, 2019. La ganadería en los humedales: ¿tiene futuro? p. 285-314. In: G. Halfter, M. Cruz y C. Huerta (Comp). Ganadería Sustentable en el Golfo de México. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa.
- Neri-Flores, I., 2017. Dinámica del agua subterránea-agua superficial y su relación con inundaciones en zonas costeras. Tesis Doctoral. Instituto de Geología, UNAM. 183 p.
- Neri-Flores, I., O.A. Escolero, S. Pérez, y G. Riquer, 2014. Inundaciones por agua subterránea en zonas costeras. Caso de estudio: acuífero de Veracruz. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66 (2): 247-261.
- Neri-Flores, I., P. Moreno-Casasola, L. A. Peralta-Peláez, O. A. Escolero y R. Monroy, 2017. Groundwater fluctuations and their interactions with rivers and wetlands in coastal zones. In: Bahadir Müfit (Herausgeber). Water Perspectives in Emerging Countries. Integrating Ecosystems in Coastal Engineering Prac-

- tice (INECEP). Proceedings of the Summer School. September 18-30. Puerto Morelos, Q. Roo, México. 342 p.
- Neri-Flores, I., P. Moreno-Casasola, L.A. Peralta-Peláez, y R. Monroy 2019. Groundwater and river flooding: the importance of wetlands in coastal zones. In: R. Silva, M.L. Martínez, V. Chávez y D. Lithgow (Eds.). Integrating Biophysical Components in Coastal Engineering Practices. *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 92*. Coconut Creek (Florida). En prensa.
- Novelo, R.A., 2006. Plantas acuáticas de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco. CONABIO- Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable, A. C. México D.F. 260 p.
- Olguín, E., G. Sánchez-Galván, R. González-Portela, y M. López-Vela, 2008. Constructed wetland mesocosms for the treatment of diluted sugarcane molasses stillage from ethanol production using *Pontederia sagittata*. *Water Research*, 42(14): 3659-3666.
- Olguín, E., G. Sánchez-Galván, F. Melo, V. Hernández, R. González-Portela, 2017. Long-term assessment at field scale of floating treatment wetlands for improvement of water quality and provision of ecosystem services in a eutrophic urban pond. *Science of Total Environment*, 584-585: 561-571.
- Olmsted, I.C., 1993. Wetlands of Mexico. p. 637-678. In: D. F. Whigham, D. Dykyjová y S. Hejný (Ed.). Wetlands of the world I: Inventory, ecology and management. Handbook of Vegetation Science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Payne, C.R., y P.H. Sand, 2011. Gulf war reparations and the UN Compensation Commission. *Environmental Liability*. 357 p.
- Peralta-Peláez, L.A., C. Deloya, y P. Moreno-Casasola, 2007. Aquatic insects in dune lakes of the central region of the Gulf of Mexico. *Neotropical Entomology*, 36(3): 342-355.
- Peralta-Peláez, L.A., y P. Moreno-Casasola, 2009. Floristic composition and diversity of wetland vegetation in dune lakes in Veracruz. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 85: 89-101.
- Peralta-Peláez, L.A., P. Moreno-Casasola, y H. López-Rosas, 2014. Hydrophyte composition of dune lakes and its relationship to land-use and water physicochemistry in Veracruz, Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 65 (4): 312-326.
- Bielenberg, R.D., T. Whitwell, M. Taylor, W. Bridges, y S. Klaine, 2008. Differential nitrogen and phosphorus recovery by five aquatic garden species in laboratory-scale subsurface-constructed wetlands. *HortScience* 43 (3): 868-874.
- Qasim, S., M. Qasim, R.P. Shrestha, A.N. Khan, K. Tun, y M. Ashraf, 2016. Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. *International Journal Disaster Risk Reduction*, 18: 100-106.
- Ramos-Rosas, N.N., C. Valdespino, J. García-Hernández, J.P. Gallo-Reynoso, y E.J. Olguín, 2013. Heavy metals in the habitat and throughout the food chain of the Neotropical otter, *Lontra longicaudis*, in protected Mexican wetlands. *Environmental Monitoring Assessment*, 185: 1163-1173.
- Rangel-Ruiz, L.J., J. Gamboa-Aguilar, M. García-Morales, y O.M. Ortiz-Lezama, 2011. *Taraxia granifera* (Lamarck, 1822) en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta en Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 27(1): 103-114.
- Raymond, C.M., B.A. Bryan, D.H. MacDonald, A. Cast, S. Strathearn, A. Grandgirard, y T. Kalivas, 2009. Mapping community values for natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics*, 68: 1301-1315.
- Richardson, J.L., y M.J. Vepraskas, (Eds.), 2001. Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification. Lewis Publishers, Boca Raton. 417 p.
- Rincón, M., 2014. Bosques de zapotonales (*Pachira aquatica*) en la reserva de la biosfera la Encrucijada, Chiapas, México. Maestría en Ciencias Biológicas con orientación ambiental. Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. 130 p.
- Rivera-García, K.D., 2018. Fauna de mosquitos (Diptera: Culicidae) asociada a humedales en el Municipio de Jamapa en el Estado de Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver. 222 p.
- Rodríguez-Medina, K., y P. Moreno-Casasola, 2013. Effect of livestock on soil structure and chemistry in the coastal marshes of the central Gulf coast of Mexico. *Soil Research*, 51(4): 341-349.
- Rodríguez-Medina, K., P. Moreno-Casasola, y C. Yáñez-Arenas, 2017. Efecto de la ganadería y la variación estacional sobre la composición florística y la biomasa vegetal en los humedales de la costa central del Golfo de México. *Acta Botanica*, 119: 79-99.

- Russi, D., P. ten Brick, A. Farmer, T. Badura, D. Coates, J. Förster, R. Kumar y N. Davidson, 2013. The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands. IEEP, Londres y Bruselas, Ramsar Secretariat, Gland. 84 p.
- Sánchez-García, E.A., K. Rodríguez-Medina, y P. Moreno-Casasola, 2017. Effects of flooding and salinity on seed germination in seven freshwater marsh species from the tropical central coast of the Gulf of Mexico. *Aquatic Botany*, 140: 4-12.
- Sánchez-Higuero, L.E., 2007. El papel de *Typha domingensis* L. en el control del enriquecimiento de los humedales por aguas de escorrentía agrícola. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. 168 p.
- Sánchez-Luna, O.I., 2018. Evaluación de los cambios en la estructura y funcionamiento de la selva inundable del Área Natural Protegida Ciénaga del Fuerte, Tecolutla, Veracruz, durante las acciones de restauración. Tesis de Maestría en Ciencias Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver. 76 p.
- Snedden, G.A., y G.D. Steyer, 2013. Predictive occurrence models for coastal wetland plant communities: Delineating hydrologic response surfaces with multinomial logistic regression. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 118: 11-23.
- Sowter, A., M.B. Amat, F. Cigna, S. Marsh, A. Athab, y L. Alshammari, 2016. Mexico City land subsidence in 2014-2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the intermittent SBAS (ISBAS) technique. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52: 230-42.
- Tóth, J., 1999. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*, 7: 1-14.
- Tovilla, H.C., 2005. Agonía y desaparición de los ríos y humedales de la costa de Chiapas. *Ecofronteras*, 25, 5-8.
- Travieso-Bello, A.C., P. Moreno-Casasola, y A. Campos, 2005. Impact produced by different cattle ranching practices on soil and vegetation from wetlands turned into pastures. *Interciencia*, 30(1): 12-18.
- Vázquez-Benavides, J., 2019. Estudio del pasto nativo *Leersia hexandra* Sw. y su efecto en la dispersión, germinación y establecimiento de semillas y plántulas de *Pachira aquatica* Aubl. y como recurso para la anidación de la tortuga pin-ta *Trachemys venusta* (Gray, 1855) en el ANP Ciénaga del Fuerte, Tecolutla, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver. 136 p.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, A. Juárez, N. Rivera-Guzmán, R. Monroy, y I. Espejel, 2015. Trade-offs in fishery yield between wetland conservation and land conversion on the Gulf of Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 114: 194-203.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, I. Espejel, B.E. Escamilla-Pérez, S. Díaz de León, y L.A. Peralta Peláez, 2016. Valor económico de los ecosistemas. p. 186-198. In: P. Moreno-Casasola (Ed.). Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz. INECOL-ITTO- CONAFOR- INECC. Xalapa.
- Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, L.A. Peralta-Peláez, y R. Monroy, 2019. The value of coastal wetland hydrological services lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: an analysis of flood damage by hurricane impacts. *Journal of Disaster Risk Reduction*. En prensa.
- Wheeler, B.D., R.P. Money, S.C. Shaw, M.R. Perrow, y A.J., Davy, 2002. Freshwater wetlands. p. 325-354. Vol 2. In: M.R. Perrow y A.J. Davy (Eds.). Handbook of ecological restoration. Restoration in practice. Cambridge University Press. Londres.
- Winter, T., 1999. Relation of streams, lakes and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, 7(1): 28-45.
- Yetter, J., 2004. Hydrology and geochemistry of freshwater wetlands on the Gulf Coast of Veracruz, Mexico. Thesis for the degree of Master of Science in Earth Sciences, University of Waterloo, Waterloo. 165 p.
- Zavala-Hidalgo, J., R. de Buen-Kalman, R. Romero-Centeno y F. Hernández-Maguey, 2010. Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas, p. 249-268. In: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (Eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMAR-NAT-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.
- Zedler, J.B., S. Kercher, y K.A. Schierenbeck, 2004. Causes and consequences of invasive plants in wetlands. Opportunities, opportunists and outcomes. *CRC Critical Reviews in Plant Science*, 23: 421-452.

Restauración ecológica de manglares de México

*J. A. Herrera-Silveira, C Teutli-Hernández,
P. A. Gómez Ruiz y F. Comín*

Resumen

En México las actividades humanas tales como la destrucción del hábitat, contaminación, sobrexplotación de recursos, falta de planificación del desarrollo urbano, industrial, turístico, desarrollo agrícola, ganadero y acuícola, han reducido la cobertura de los ecosistemas de manglar. La magnitud y cobertura de los impactos están relacionados con la intensidad y tipo de actividades socioeconómicas de cada región costera del país. La restauración de zonas de manglar impactadas o destruidas se ha tratado de realizar implementando diferentes metodologías y acciones, siendo la reforestación la acción más generalizada. Los proyectos de investigación, de escala piloto y en diferentes localidades de los autores, han llevado a proponer una estrategia de restauración ecológica de manglares. Esta estrategia se basa en el conocimiento que hay del ecosistema, sumado a la incorporación del componente social, así como a las autoridades, académicos y a los financiadores. El componente de la estrategia más

importante es el que se refiere a los arreglos institucionales y/o de grupo. El resultado de la búsqueda bibliografía de proyectos de restauración/rehabilitación de manglar en México, ha llevado a identificar el cómo y dónde se ha llevado la restauración en ecosistemas de manglar a nivel nacional, dando como uno de los resultados que la principal acción de restauración de manglar ha sido la reforestación. Del total de documentos recuperados (58) el 51 % cumplieron con los criterios establecidos para su análisis. Es relevante que, si bien se han desarrollado gran cantidad de actividades de restauración en todo el país, éstas no se ven reflejadas en las hectáreas recuperadas ni el avance del conocimiento del tema. La estrategia propuesta puede ser incorporada como parte de los elementos de la política pública relacionada no sólo con la restauración de los manglares, sino también en la adaptación al cambio climático por su capacidad de captura de carbono, ofreciendo una opción para el cumplimiento de metas nacionales e internacionales a las que México se ha comprometido como el acuerdo de París.

Palabras clave: manglares, restauración, reforestación

Introducción

Los manglares son ecosistemas esenciales en el desarrollo y funcionamiento de la zona costera. Se definen como humedales constituidos por un tipo de vegetación que tiene adaptaciones morfológicas y fisiológicas a condiciones de salinidad e inundación; también se caracterizan porque sus suelos están permanentemente húmedos e inundados, y toleran amplios intervalos de salinidad del agua intersticial (de dulceacuícolas a hiperhalinas). Un factor determinante en el funcionamiento de los manglares es el hidroperíodo, esta característica se refiere a las condiciones de inundación: tiempo (¿cuánto dura inundado?), frecuencia (¿qué tan seguido se inunda?) y nivel (¿a qué nivel llega el agua?), determinando el crecimiento, reproducción y desarrollo de la vegetación. Cuando los cambios en estas condiciones sobrepasan la capacidad de adaptación de los manglares, el resultado se traduce en la degradación y muerte de estos.

Este ecosistema es un componente primordial de la zona costera, ya que mantiene funciones ecológicas y brinda servicios ambientales como: 1) protección a la línea de costa ante fenómenos hidro-meteorológicos locales (“Nortes”), regionales (huracanes) y globales (incremento del nivel medio del mar); 2) mantenimiento de la calidad de agua debido a su capacidad de filtración de materiales y contaminantes; 3) hábitats críticos para un amplio número de organismos, muchos de ellos de importancia ecológica, comercial y turística; 4) estabilizadores del suelo y/o evitan la erosión de playas; 5) fuente importante de carbono hacia las cadenas tróficas y por tanto sostén de pesquerías artesanales e industriales (Herrera-Silveira *et al.*, 2005). Actualmente, los manglares se encuentran entre los ecosistemas más valiosos del mundo por los servicios ambientales que ayudan a reducir la vulnerabilidad al cambio climático: captura de gases de efecto invernadero,

en hojas, raíces, suelo y madera muerta; secuestro y almacén de carbono en cantidades excepcionales (más de 1 000 toneladas de carbono por hectárea), superando cualquier selva o bosque terrestre (Donato *et al.*, 2011).

Los ecosistemas costeros de todo el mundo están bajo constantes presiones relacionadas con el crecimiento poblacional y las necesidades del desarrollo económico (Giri *et al.*, 2001). La línea de costa y humedales de países tropicales y subtropicales han representado una oportunidad tanto de crecimiento urbano como de actividades económicas (pesca, turismo) dependientes de la estructura y función de sus ecosistemas (Herrera-Silveira *et al.*, 2005). Los manglares no están exentos de los impactos que provoca la necesidad de aumentar la seguridad alimentaria, impulsar las economías nacionales y mejorar los niveles de vida, por lo que muchos gobiernos a nivel mundial han alentado el desarrollo de la camaronicultura, piscicultura, agricultura, producción de sal y arroz, urbanización, y usos forestales en las zonas de manglar (Valiela, 2001; FAO, 2007).

En México los ecosistemas costeros están amenazados principalmente por la destrucción del hábitat, la contaminación por las descargas de desechos urbanos, aguas negras y residuos industriales peligrosos, la

sobreexplotación de recursos, la falta de planificación del desarrollo urbano y la intensa actividad industrial, agrícola, turística y pesquera (Lara-Lara *et al.*, 2008). La construcción de carreteras, alcantarillas, apertura y mantenimiento de bocas que conectan los ecosistemas costeros con el mar y el cambio de uso del suelo en todas las costas mexicanas ha ocasionado cambios en la hidrología, lo cual es una de las principales causas de la muerte del manglar. Debido a todo esto, se ha reducido considerablemente la cobertura de los ecosistemas manglares durante los últimos años en todo el país, al grado que en 25 años se estima la pérdida del 10 % de su cobertura (Valderrama *et al.*, 2014).

Ante las actuales condiciones de degradación y transformación de muchos ecosistemas en el país, ha sido necesario el desarrollo e implementación de proyectos de restauración ecológica que ayuden a revertir los daños al funcionamiento ecológico de los ecosistemas causado por las actividades ya mencionadas. Particularmente en el caso de los manglares, su recuperación es indispensable para mantener la salud ecológica de los ecosistemas asociados (pastos marinos, arrecifes coralinos) y la provisión de los servicios ambientales que benefician a las comunidades locales.

¿Qué sabemos de los manglares en México?

México es uno de los cinco países del mundo con mayor área de manglares distribuidos en 17 estados costeros del país en ambos litorales, con aproximadamente 775 555 hectáreas que representan el 5 % de la cobertura a nivel mundial (Valderrama

et al., 2017). En el país se ha registrado la presencia de seis especies, cuatro de ellas que son las más comunes se encuentran en estatus de amenazadas (NOM 059 de 2010). Estas especies son: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia race-*

mosa), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) (figura 1). Las otras dos especies (*Avicennia bicolor* y *Rhizophora harrisonii*) tienen una

distribución restringida con poblaciones pequeñas en los estados de Chiapas y Oaxaca (Agraz-Hernández *et al.*, 2006).

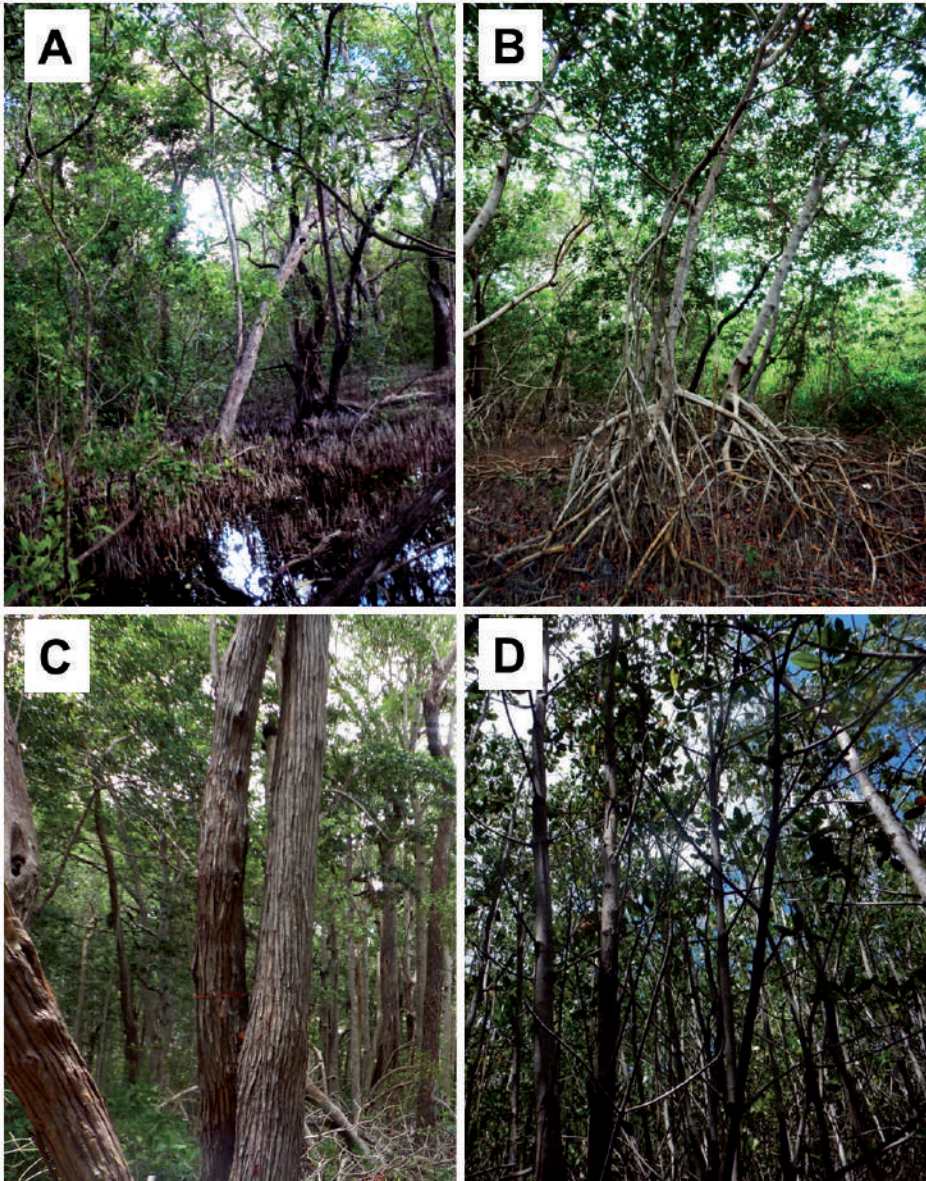


Figura 1. Especies más comunes de los manglares en México. A) Mangle negro (*Avicennia germinans*), B) Mangle rojo (*Rhizophora mangle*), C) Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), D) Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*).

Valderrama *et al.* (2017) hace una división en 5 regiones de la distribución de los manglares en México: Pacífico Norte, Pacífico Centro, Pacífico Sur, golfo de México y península de Yucatán (figura 2). En las cua-

les ha identificado la extensión de las áreas de manglar conservado y degradado, por medio de análisis de imágenes satelitales y métodos de percepción remota (tabla 1).

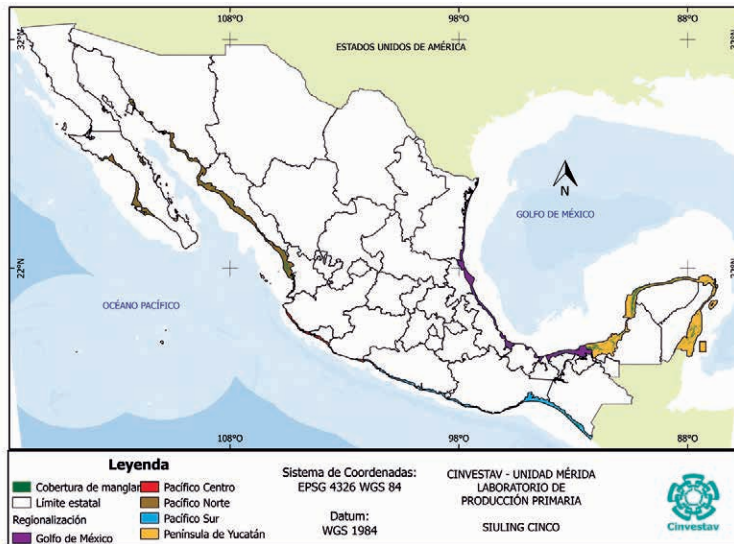


Figura 2. Mapa de la distribución de manglares en México y la regionalización hecha por CONABIO. Autor: Siuling Cinco Casto, modificado de CONABIO, 2009.

Cobertura de manglar	Manglar total (ha)	Manglar degradado (ha)	Porcentaje de área en el país y degradado
Pacífico Norte Baja California, Baja California sur, Nayarit, Sonora y Sinaloa.	187 383	7 926	24.2% 4.2%
Pacífico Centro Colima, Jalisco y Michoacán.	7 011	107	0.9% 1.5%
Pacífico Sur Chiapas, Guerrero y Oaxaca.	72 187	2 802	9.3% 3.9%
Golfo de México Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.	87 048	2 219	11.2% 2.5%
Península de Yucatán Campeche, Quintana Roo y Yucatán.	421 926	5 277	54.4% 1.25%
Total	775 555	18 331	100% 13.3%

¿Qué sabemos de la restauración ecológica de ecosistemas?

Los ecosistemas a nivel mundial se están degradando y destruyendo a una velocidad sin precedentes. De acuerdo con la FAO (2007) en los últimos 20 años se ha perdido el 23 % del total de la cobertura a nivel mundial. En particular en las regiones costeras la presión antrópica se ha incrementado considerablemente, lo cual ha afectado principalmente a manglares, pastos marinos y arrecifes de coral. Valderrama *et al.* (2014) han reportado para México una pérdida neta de la cobertura de manglar del 10 % hasta entre 1970-1980 y 2010, sin embargo, para el periodo 2010-2015 estos mismos autores indican que sólo el 2.4 % de la cobertura de manglar está en proceso de degradación y que contrario a los años anteriores ha habido ganancias en la cobertura por la colonización y recuperación del manglar en algunas regiones (Valderrama *et al.*, 2017). De estas cifras dos aspectos habría que señalar: 1) es muy probable que antes de la primera evaluación de CONABIO que utiliza insumos de los años 70s y 80s ya habían grandes extensiones de manglar degradado no consideradas en esta línea base, y 2) al no estar contabilizadas, en el último reporte (Valderrama *et al.*, 2017) se afirma que la superficie de manglar ha aumentado, lo cual es una interpretación no del todo correcta de los datos. Al margen de las cifras, existen indicios de que aún dentro de zonas donde no debería haber impactos en los manglares como las Áreas Naturales Protegidas, hay en la actualidad procesos de degradación que deben ser detenidos y remediados, por lo tanto, son necesarios los esfuerzos para llevar a cabo la restauración de este ecosistema.

El término restauración se define como el proceso de devolver un ecosistema a

sus condiciones originales (Field, 1995), mientras que la “restauración ecológica” es el proceso de ayudar a recuperar un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004). Una premisa de la ecología de la restauración es la liberación o disminución de estresores que inician procesos de deterioro en el ecosistema tanto en atributos físicos, químicos como ecológicos, modificando la trayectoria de condición deteriorada hacia una más natural y sin tensores.

El proceso de restauración de los ecosistemas de manglar va a depender del tipo y magnitud de las perturbaciones que lo han afectado (Milbrandt y Tinsley 2006), además de las condiciones particulares de cada lugar. Se ha identificado que los cambios en la hidrología han sido una de las principales causas de degradación de los manglares, dando lugar a grandes esfuerzos para llevar a cabo su recuperación mediante el restablecimiento de las características hidrológicas, proceso que se conoce como rehabilitación hidrológica (Turner y Lewis III, 1997). Debido a la escasa información sobre los mecanismos que regulan la estructura y función de los ecosistemas de manglar en cada sitio, se ha restringido el desarrollo de planes de gestión que rigen el uso, la conservación y restauración de los recursos naturales (Twilley *et al.*, 1998).

¿Que no sabemos de la restauración de manglares?

La restauración de zonas de manglar impactadas o degradadas se ha tratado por diversos autores (Lewis 2005, FAO, 2007; Valiela, 2001). Una acción generalizada que se pone en práctica en los procesos de restauración de manglares a nivel mundial es la reforestación. Sin embargo, en la mayoría de los casos esta acción se realiza sin el

diagnóstico previo ni adecuación del sitio, en consecuencia, no tiene el éxito esperado. De acuerdo con lo anterior, y considerando las experiencias documentadas, recomendamos que para llevar a cabo la restauración ecológica de manglares se deben considerar los siguientes componentes:

Conocimiento (datos-información del ecosistema), actores clave (grupos interesados en un programa de este tipo), diagnóstico (análisis de las causas del deterioro), acciones (propuestas y mecanismos de ejecución), evaluación y aprendizaje (indicadores de éxito y monitoreo, ambiental y social), de forma que interactúen como se indica a continuación (figura 3)

También es importante considerar que el éxito de la restauración está limitado por diferentes factores relacionados con: A) cómo la naturaleza es valorada por la socie-

dad; B) el grado de compromiso social con la restauración ecológica; C) las circunstancias ecológicas en las que se requiere la restauración y; D) la calidad del criterio o juicio de cómo llevar a cabo la restauración. La reducción de cualquier factor puede limitar el potencial del proyecto de restauración (Jackson *et al.*, 1995). Es por ello por lo que, para planear y ejecutar un proyecto de restauración ecológica de ecosistemas de manglar se debe integrar tempranamente a los diferentes actores en la planeación y desarrollo. En el caso de los manglares hay dos factores fundamentales que deben mejorarse para una restauración efectiva, la hidrología y los estresores, que son los que determinan la presencia y salud del ecosistema y su capacidad de recuperación (figura 4).

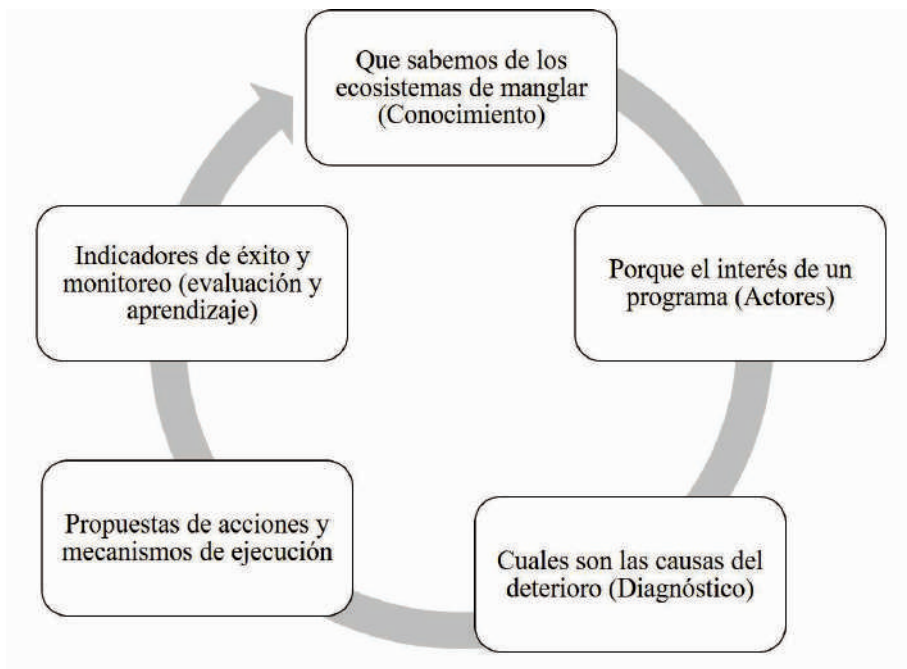


Figura 3. Pasos generales para llevar a cabo la restauración en ecosistemas de manglar (modificado de Jackson *et al.*, 1995).

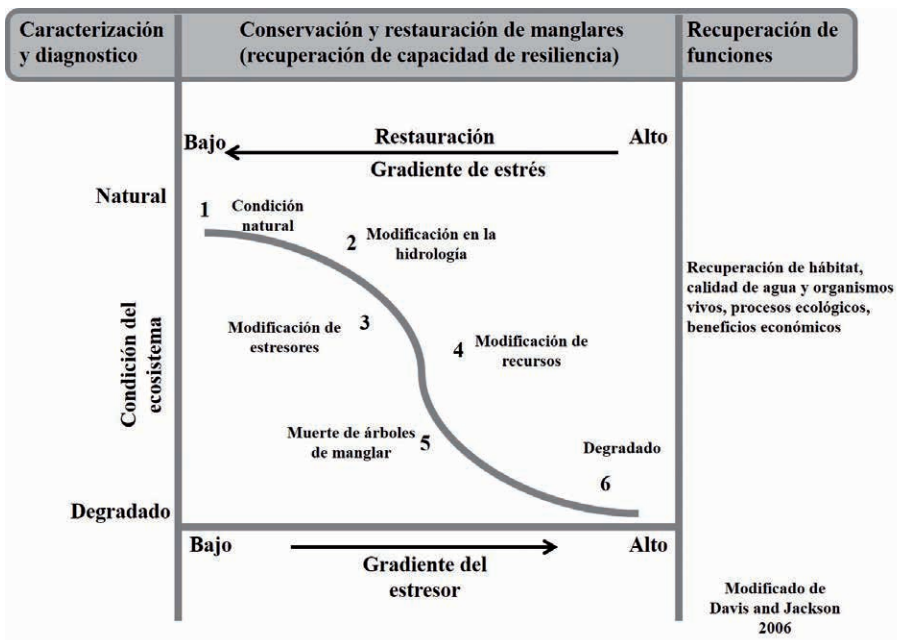


Figura 4. Proceso de transición de manglares sanos a degradados en función de un gradiente de estresores y su posibilidad de recuperación (Modificado de Davies y Jackson, 2006).

Problemáticas del ecosistema manglar en México

Los ecosistemas de manglar mexicanos por su ubicación en zonas costeras presentan impactos similares en todas las regiones, como el caso del turismo. Flores *et al.* (2010) han identificado que los estados más afectados por esta actividad son: Colima, Jalisco, Guerrero y Quintana Roo, donde se han reportado daños severos debido a las construcciones sobre dunas, o rellenan zonas de manglar pese a las leyes y prohibiciones legales. El impacto de esta problemática puede ser peor ya que hay escasos de datos en algunos estados (Michoacán, Jalisco y Oaxaca), así como la falta de estudios que den seguimiento a las consecuencias en el mediano y largo plazo de los impactos sobre la dinámica y funcionamiento del

manglar. Los impactos por región varían en tipo e intensidad (tabla 2).

Pacífico Norte

En México el desarrollo de las granjas para la producción de camarón se inició en 1987, siendo en el estado de Sinaloa donde se construyó el primer sistema de producción, y esta actividad se ha multiplicado en otros estados como Sonora y Nayarit. Entre los principales impactos que destacan de esta actividad están la eutrofización de aguas costeras, deforestación y cambio de uso del suelo, introducción de especies exóticas, y sobreexplotación de poblaciones de camarón silvestre (Lechuga, 2009). Otros impactos para esta región son la construc-

Tabla 2. Impactos y consecuencias en el ecosistema de manglar a nivel regional en México.

Región	Impacto	Consecuencia del Impacto	Referencia
Pacífico Norte	Desviación de Ríos, construcción de canales de irrigación, apertura de bocas, construcción de carreteras y caminos, desarrollo urbano, huracanes, construcción de termo-eléctricas, canaricultura, descargas de drenes agrícolas, desarrollo turístico y urbano.	Disminución de agua hacia del manglar, salinización del sedimento, obstrucción del flujo laminar, cambio de uso de suelo, deposición de sedimentos por erosión, cambio de uso de suelo.	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1998, Moreno <i>et al.</i> , 2002, Alonso-Pérez <i>et al.</i> , 2003; Tovilla y Orihuela, 2004.; Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2007; Lechuga, 2009.; Bashan <i>et al.</i> , 2013.
Pacífico Centro	Desarrollo turístico.	Cambio de uso de suelo.	Tovilla y Orihuela, 2004.
Pacífico Sur	Introducción de agroquímicos, desechos sólidos, tala, desvió de agua de los ríos, construcción de bordos.	Cambios en la hidrología, azolvamiento de canales.	Reyes y Tovilla, 2002; Tovilla y Orihuela, 2004.
Golfo de México	Turismo, derrames de petróleo, complejo termoeléctrico, Agricultura, gasoductos, apertura de bocas, tala clandestina.	Construcción de carreteras y caminos, ganadería y agricultura, erosión, sedimentación de canales, pérdida de cobertura, muerte del manglar.	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1998; Adams, 1999; López-Portillo y Ezcurra, 2002; Olguín <i>et al.</i> , 2007; Agraz y Arriaga, 2010; Alonzo, 2011; Zaldívar, 2013.
Península de Yucatán	Eventos naturales (huracanes), construcción de caminos y carreteras, desarrollo turístico, urbanización, construcción de puertos de abrigo, desarrollo portuario.	Perdida de cobertura de manglar, cambio de uso de suelo, salinización del sedimento, obstrucción del flujo laminar.	López-Portillo y Ezcurra, 2002; Teutli-Hernández, 2004; Hiraes-Cota <i>et al.</i> , 2010; Herrera-Silveira <i>et al.</i> , 2012.

ción de carreteras, sobreexplotación de manto freático, erosión costera, descargas de drenes agrícolas, crecimiento urbano, deforestación de la cuenca alta, cambios en los flujos hídricos, desarrollo urbano y turístico, además de eventos naturales como huracanes. En esta región del país, así como en otras, se sufren las consecuencias de la incongruencia en la legislación, y sustento científico no valorado por las autoridades.

Pacífico Centro

En esta región los principales impactos están relacionados al desarrollo turístico, así como al establecimiento de granjas cama-

roneras y contaminación de aguas (Flores *et al.*, 2010). Cabe mencionar que para esta región es muy escasa la información y estudios de manglar donde se identifiquen las actividades económicas en sitios específicos ni la caracterización del ecosistema.

Pacífico Sur

En el estado de Chiapas se ha reconocido que el azolvamiento de canales de marea es uno de los principales impactos de deterioro, así como el uso irracional de agua para la agricultura, la contaminación por agroquímicos, y tala clandestina (Tovilla *et al.*, 2004). Para los estados de Guerrero y

Oaxaca es escasa la información publicada de los impactos en los ecosistemas de manglar. Sin embargo, el turismo y cambio de usos del suelo en la cuenca alta de ríos son de las principales causas de deterioro de los manglares de esta región.

Golfo de México

Un aspecto a destacar es que en esta región se localiza la infraestructura petrolera más importante a nivel nacional. En el estado de Veracruz se han establecido plantas petroquímicas sobre los márgenes de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, mientras que en la zona litoral se ubican campos petroleros importantes (Agua Dulce, Poza Rica y Veracruz) (Peresbarbosa, 2006). En Tamaulipas sus principales recursos son el petróleo y el gas, así como actividades agrícolas, ganaderas, además del desarrollo poblacional, las cuales se han identificado como impactos negativos en los ecosistemas de manglar (Zamora, 2007). Por su parte, en Tabasco se han detectado algunos sitios de contaminación por hidrocarburos debido a la ruptura de ductos principalmente en el occidente de este estado, así como cambios en el uso del suelo a ranchos ganaderos o campos agrícolas (Olguín *et al.*, 2007). Cabe mencionar que el establecimiento de campos de explotación, y de tuberías para la conducción de petróleo han tenido impacto en zonas de manglar en los estados de Tabasco, Veracruz y Campeche. Se ha observado que el cierre de bocas de conexión entre el mar y el humedal debido a la instalación de tubería para la distribución de gas y petróleo, así como caminos de acceso a campos de extracción de hidrocarburos

ha propiciado la mortandad de amplias extensiones de manglares (López-Portillo y Ezcurra, 2002). La complejidad del impacto y la condición de acumulación de hidrocarburos en el sedimento, que no son fácilmente degradables, no ha sido documentado con amplitud en México (Olguín *et al.*, 2007).

Península de Yucatán

Uno de los impactos que más se destaca para esta región es la construcción de carreteras que atraviesan el humedal e interrumpen el flujo superficial y subsuperficial de agua (Teutli-Hernández, 2004). También los cambios hidrológicos por la apertura de bocas que conectan al mar con humedales tierra adentro son otro impacto al norte de Yucatán. En Quintana Roo, la deforestación para dar paso al desarrollo turístico es una de las principales causas de deterioro. Se ha reportado que en la zona costera de Mahahual-Xcalak (sur de Q. Roo) se ha incrementado el desarrollo turístico y urbano afectando los ecosistemas de manglar (Hirales-Cota *et al.*, 2010). En el estado de Campeche se han identificado impactos tales como prácticas agrícolas, ganadería, acuacultura, y desarrollo urbano mal planeado. Hay reportes de derrames de petróleo o fugas ocasionales de petróleo que tienden a acumularse en zonas bajas mal drenadas. Si el derrame ocurre sobre corrientes de agua el efecto es mayor debido a la dispersión del petróleo, llegando a las raíces del manglar provocando la muerte por la interrupción de intercambio de gases a través de las lenticelas (López-Portillo y Ezcurra, 2002).

¿Cómo debe llevarse a cabo la restauración de manglares en México?

La estrategia para llevar a cabo una exitosa restauración ecológica de manglar se debe basar en las relaciones que hay entre la geomorfología, la hidrología, las características estructurales y funciones del ecosistema de manglar. Sumado a esto debe estar el componente social, debiéndose considerar la percepción de los habitantes de las zonas aledañas a los manglares degradados, las autoridades, los académicos, y los financiadores. La estrategia aquí propuesta (figura 5) es un proceso por etapas que incluyen la planificación, implementación y seguimiento del programa de restauración, acompañado en todo momento del cumplimiento de los arreglos institucionales

que se hagan entre los actores (Teutli-Hernández y Herrera-Silveira, 2016).

Esta estrategia debe considerar los siguientes componentes:

- **Identificación del sitio a restaurar y establecimiento de los objetivos claros y metas alcanzables (realistas) de la restauración.** Se define lo que se quiere recuperar (función, proceso, estructura, o la configuración del entorno, el paisaje, o una característica o especie en particular del ecosistema) y la extensión. La restauración puede ser dividida en etapas brindando la oportunidad de evaluar el nivel de desempeño de las acciones de restauración.



Figura 5. Propuesta de la estrategia y componentes esenciales de la restauración ecológica de manglares (Teutli-Hernández y Herrera-Silveira, 2016). Las flechas indican conexión entre componentes.

- **Caracterización del sitio a restaurar y de un sitio de referencia.** Se determinan las características hidrológicas, geomorfológicas, ecológicas y contextuales de cada sitio tanto a nivel local como de paisaje. Se identifican las causas locales y/o regionales que están degradando el manglar (ecología forense). El sitio de referencia no sólo se refiere a un sitio en buen estado de conservación, es recomendable incluir en el análisis un sitio que permanezca degradado, ya que ambos representan los puntos extremos en las trayectorias de restauración.
- **Implementación de acciones adecuadas de restauración específicas para el sitio.** Se definen aspectos como qué tipo de acciones (rehabilitación hidrológica, manejo de la topografía, centros de dispersión, establecimiento de especies facilitadoras, reforestación, entre otras). El plan de implementación de las acciones debe incluir las especificaciones de: dónde se ejecutan, cómo se realizan, y cuándo se llevan a cabo, además de los costos que implica cada una de ellas. Cada proceso de implementación de las acciones de restauración es “un traje hecho a la medida”, por lo que copiar y/o trasladar acciones de forma directa de un sitio a otro sin el debido proceso de análisis, ha llevado al fracaso y al dispendio de grandes cantidades de recursos tanto económicos como de tiempo y esfuerzo de quienes ejecutan las acciones sin resultados positivos de restauración.
- **Monitoreo de las acciones de restauración.** Se deben seleccionar variables específicas que funcionen como indicadores para los programas de restauración (características fisiológicas, hidrológicas, estructurales de la vegetación, del paisaje, variables fisicoquímicas del sedimento, diversidad de organismos, entre otras). Estas variables deben ser medidas tanto en el sitio restaurado como en el o (los) de referencia, tanto en el que está en buenas condiciones como en el que se mantiene degradado. El seguimiento de estas variables indicadoras permite –en caso de requerirlo– realizar cambios en el tipo de acciones por el bajo nivel de éxito de las metas propuestas inicialmente siguiendo el enfoque de manejo adaptativo. La importancia de definir estas variables radica en establecer los indicadores de corto, mediano y largo plazo del éxito de la restauración.
- **Vinculación y socialización de la restauración ecológica.** Los resultados de la restauración ecológica deben ser publicados y difundidos. Si bien la restauración ecológica de manglares es una actividad reciente de la cual se ha hablado mucho, es escasa la documentación y evidencias tangibles del éxito o no de la restauración. Tanto las buenas experiencias como aquellas que no han dado los resultados esperados deben reportarse para repetir los métodos que si han funcionado o evitar caer en los mismos errores que tuvieron otros proyectos. Aquí se incluyen documentos de investigación, de difusión, redes sociales, capacitación formal e informal, monitoreo comunitario, establecimiento de grupos organizados coordinados por grupos técnicos. Este componente del proceso es uno de los que aumenta las probabilidades para que el sitio restaurado forme parte de los activos ambientales o capital natural de la comunidad.
- **Arreglos institucionales y/o de grupo.** Uno de los componentes más impor-

tantes de la restauración son los arreglos institucionales y/o de grupo. Se ha identificado que se necesita un elemento de cohesión entre componentes de la estrategia y participantes de ella. Los arreglos institucionales permiten buena comunicación (entre grupos o instituciones), transferencia de información, y éxito en el financiamiento para ejecutar las acciones de restauración, incluyendo el monitoreo. La vinculación con las autoridades favorecerá el aprovechamiento sustentable del sitio restaurado

dándole la oportunidad de viabilidad financiera al mantenimiento de las acciones de restauración. Actualmente, las estrategias de adaptación basada en ecosistemas son las que mayor impacto ambiental y social se espera tengan en el corto y mediano plazo, la restauración de manglares se podría formar parte de estas estrategias de adaptación ya que se recuperan servicios ambientales esenciales para la comunidad como protección a tormentas y control de la calidad del agua entre otros.

Lecciones aprendidas

Dada la complejidad del problema de la restauración ecológica de manglar, y de acuerdo con la experiencia de los resultados obtenidos en proyectos desarrollados a lo largo de las costas del golfo de México, Caribe y Pacífico Sur, se han desarrollado diferentes acciones específicas de restauración, habiendo acumulado experiencias de cómo implementarlas, por lo que entre las lecciones aprendidas se describen algunas de las acciones de restauración que mejores resultados han dado en la recuperación de áreas de manglar en diferentes nivel de degradación, y que deben ser consideradas por los tomadores de decisión al momento de proponer medidas de mitigación y/o compensación como parte de los programas de restauración de ecosistemas. Estas acciones son:

Acción 1. **Desazolve de canales naturales**

Esta acción se podrá iniciar una vez que se hayan identificado por el análisis de imágenes, fotos, prospección y muestreo de

campo, cuáles eran los canales de marea naturales del sitio. Desde imágenes tomadas de Google Earth se pueden observar los canales naturales por donde circulaba el agua antes del impacto y hacer un trazo de los posibles trayectos (figura 6). Se recomienda que estas actividades se realicen manualmente por los miembros de la comunidad organizados en grupo. Al tratarse de canales naturales se procurará que las trayectorias sigan las rutas que tenían originalmente (en “zig-zag”), lo que aumentará las probabilidades de mejorar la circulación del agua, y reducirá (no eliminará del todo) los esfuerzos de mantenimiento. Las características de estos canales respecto a profundidad y ancho variarán de acuerdo con las condiciones específicas de los sitios. Imitar la configuración natural de los canales tiene el objetivo de proporcionar heterogeneidad y que el flujo-reflujo del agua no erosione con facilidad las paredes de estos, así las acciones de mantenimiento serán poco frecuentes.

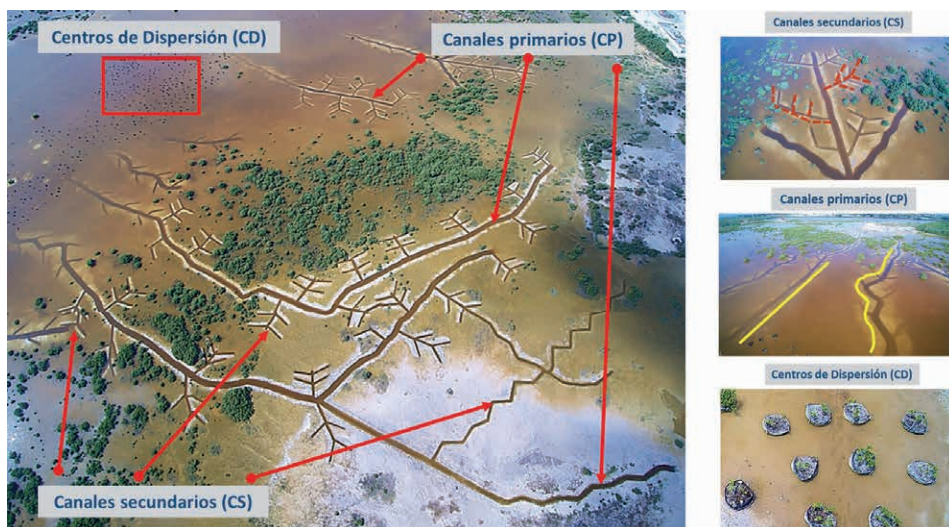


Figura 6. Imagen desde un dron de un sitio en restauración señalando los trazos de los canales artificiales. Canales principales (CP), Canales secundarios (CS), Centros de dispersión (CD).
 Autor: Oscar Pérez Martínez.

Acción 2.

Habilitación de canales nuevos

Es probable que a consecuencia del tiempo que tiene el manglar en mal estado, la configuración topográfica haya cambiado. Con recorridos de campo y la ayuda de imágenes, fotos y revisión de la topografía, se podrán identificar donde serían las “rutas” más apropiadas para la habilitación de estos canales que permitan aumentar el flujo de agua hacia la zona de restauración. La experiencia de los autores en diferentes localidades permite sugerir que estos canales se construyan siguiendo circuitos, esto asegura la libre circulación del agua independientemente de la época del año, la marea y los aportes de agua dulce.

Es pertinente señalar que si bien es importante la fuente de agua (dulce o marina), lo es más el tiempo de residencia de esta. Es por ello por lo que las obras para habilitar estos canales nuevos deben tomar en consideración la eficiencia en el intercambio de agua, para que el tiempo de re-

sidencia de esta se relacione por una parte con las mareas, y por otra con las escorrentías de agua dulce desde el continente. Mantener la circulación del agua aumenta las probabilidades de que los nuevos canales funcionen adecuadamente. Al igual que el desazolve de los canales naturales, el objetivo es proporcionar heterogeneidad y que la fuerza de las corrientes no erosione con facilidad las paredes, y que las acciones de mantenimiento sean poco frecuentes.

Acción 3.

Reubicación de material orgánico

Es probable que, tanto por eventos naturales como por los impactos de actividades antrópicas y acciones de restauración previas no exitosas, se tengan que reubicar restos de vegetación muerta, y todo aquel obstáculo orgánico e inorgánico que permanezca en el área objeto de la restauración. Estos materiales probablemente limiten o restringen el libre flujo de agua

superficial y en los canales desazolvados y/o rehabilitados. El destino final del material que es de tipo orgánico debe ser el mismo sitio, para que continúe su proceso de descomposición, pero sin interrumpir los flujos de agua. Este material orgánico y los sedimentos serán utilizados para que proporcionen heterogeneidad topográfica al sitio en restauración, lo cual favorecerá el repoblamiento por diferentes especies, ya que cada una de las especies de manglar tiene preferencias de inundación particulares. Una práctica común en la rehabilitación/construcción de canales es la disposición del material a los márgenes de los canales lo cual es incorrecto, ya que limita la inundación cuando el nivel del agua alcance los bordes de los canales y alcance las áreas degradadas (figura 7).

Acción 4. Desazolve de pasos de agua

Para esta acción se deben construir canales de conexión con el humedal hacia la zona de manglar impactado, que permitan el flujo de agua libre hacia esta zona. Se sugiere que estos canales tengan forma de “delta” a partir del punto de conexión del paso de agua, con longitud de aproximadamente 5 m (figura 8). Esta estrategia tiene como objetivo la distribución y alcance del agua que pasa por estas estructuras sea lo más amplio desde el punto de vista espacial.

Acción 5. Acondicionamiento de centros de dispersión

La reforestación ha sido una de las acciones más recurrentes para recuperar cobertura vegetal en zonas impactadas. Para los



Figura 7. Ejemplos de la rehabilitación o construcción de canales en áreas de manglar degradado. Nótese que el sedimento de los bordes del canal debe dispersarse, y que la trayectoria no debe ser recta, a menos que se trate de un diseño experimental. Autor: Jorge Herrera Silveira.

manglares no es la excepción, sin embargo, también ha sido la acción menos exitosa, al menos en la península de Yucatán. Una alternativa que ha sido más efectiva es la creación de centros de dispersión (CD) (figura 9). Este procedimiento permite acelerar el proceso de repoblamiento y recuperación de la cobertura vegetal. Estos centros son agrupaciones naturales de plantas en baja densidad, pero con condiciones favorables

para crecimiento y reproducción, en donde las condiciones hidrológicas y de sedimentos pueden ser favorables para el desarrollo de plántulas. Uno de los principales propósitos de los CD es facilitar que una amplia área se cubra por vegetación de una manera “natural” lo más rápido posible.

La ubicación de los CD debe ser hasta donde llegue el máximo nivel de inundación del sitio a restaurar, por lo que también

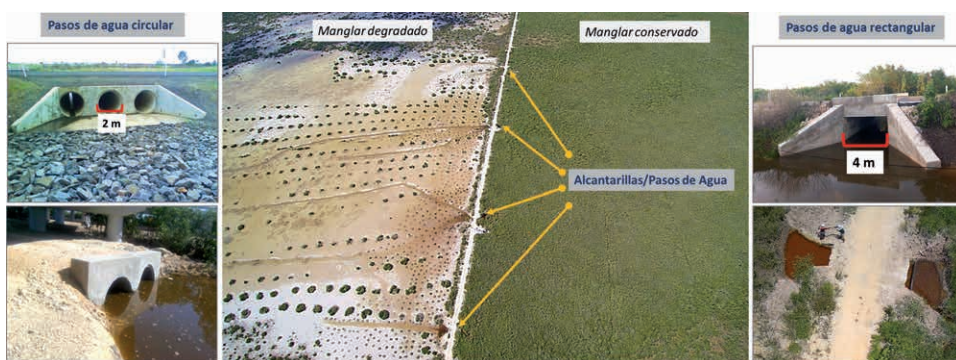


Figura 8. Ejemplos de pasos de agua para permitir el flujo de agua de la zona del manglar en buen estado a la zona de restauración. Nótese que, a la salida del paso del agua, la conexión con el manglar es en forma de delta.



Figura 9. Ejemplos de centros de dispersión en los que se observa el crecimiento de las plántulas después de un año de restauración.

en este caso la información del diagnóstico es básica para definir con precisión este tipo de detalles. Se pueden usar montículos de sedimentos que estén en la zona para crear nuevos CD, los cuales se pueden obtener de la creación y habilitación de los canales naturales y artificiales. Se recomienda que estos CD representen heterogeneidad topográfica que junto con la inundación permitirán diferentes niveles del agua y con ello el establecimiento de plántulas de manglar según su tolerancia al nivel de inundación. Si se observara reclutamiento natural se podrán habilitar más CD, de lo contrario una

acción complementaria sería la reforestación en estos CD. Las plántulas provendrían del sitio de referencia y no se requiere de un proceso adicional más allá del de tener las precauciones de no dañar y/o estresar el sistema de raíces en el proceso de extracción y siembra. A esta última acción en algunos proyectos se le mencionan como “regeneración inducida”. Cabe señalar que los autores durante sus estudios y prácticas de restauración no han requerido construir viveros para hacerse de plántulas durante acciones de reforestación de los centros de dispersión.

Experiencias de restauración de manglares en México

En la mayoría de los casos la restauración de manglares se ha enfocado a la revegetación con propágulos o plántulas de manglar (Lewis, 2005; Proffitt y Devlin, 2005) y México no ha sido la excepción. Para conocer el cómo y dónde se ha llevado la restauración en ecosistemas de manglar a nivel nacional, se realizó una búsqueda bibliográfica en revistas de investigación, documentos de proyectos de restauración/rehabilitación de manglar, así como tesis a diferentes niveles. Esto generó como resultado que la principal acción de restauración de manglar ha sido la reforestación. Sin embargo, es importante aclarar que la reforestación por sí sola no es restauración, es una de las estrategias posibles que debe considerarse en conjunto con otras acciones que ayuden a mejorar el medio abiótico. Esta concepción errónea de que reforestar es lo mismo que restaurar ha causado un mal manejo de recursos y pocos resultados positivos en muchas de las iniciativas donde se ha promovido la restauración como

medida de compensación. Muchas obras autorizadas han sido obligadas a incorporar como medida de compensación ambiental la reforestación, sin embargo, muchas de estas no han tenido éxito y sólo se han desperdiciado los recursos.

Todos los documentos recuperados en la búsqueda fueron analizados, pero en este capítulo sólo fueron tomados en cuenta aquellos que mencionaban: la causa de degradación, las acciones propuestas, la medición de una variable o datos de monitoreo. Del total de documentos recuperados (58), el 51% cumplieron con los criterios establecidos (tabla 3). De acuerdo con las primeras publicaciones, la restauración como medida de recuperación de los ecosistemas de manglar en México es una actividad reciente, con el primer documento publicado a finales de los 90s (Adams, 1999). Es pertinente resaltar que, si bien se han desarrollado gran cantidad de actividades llamadas “restauración” en todo el país, mucha de la información generada se queda como lite-

ratura gris (informes técnicos, reportes, tesis) y no se ven reflejadas en documentos de amplia difusión y mucho menos en artículos científicos. Un resultado sobresaliente de esta revisión es la escasa información de la región del Pacífico Centro (tabla 3).

La acción más reportada como medida de restauración de manglares en México ha sido la reforestación, ya sea por plantación directa, plántulas producidas en vivero, dispersión por boleo o traslocación de individuos de una zona cercana en buenas condiciones. Esta medida se ha realizado principalmente en el estado de Sinaloa (Benítez, 2007). La rehabilitación hidrológica y todas las acciones asociadas es la segunda estrategia más implementada (figura

10), y en algunos casos va relacionada con procesos de reforestación. De los resultados de la búsqueda resalta la ausencia de información de importancia como los cambios ambientales, biológicos y ecológicos en los sitios en procesos de restauración. Por otra parte, en la mayoría de los trabajos no se menciona si las acciones realizadas tuvieron éxito o no, y menos aún si se hizo, y de qué forma el monitoreo, e incluso los costos de la restauración.

El objetivo de la restauración que se observa en la mayoría de los documentos analizados es la recuperación de la cobertura de manglar, por lo que las variables que se miden son: altura, densidad y sobrevivencia de plántulas o juveniles de manglar (Adams,

Tabla 3. Documentos publicados en restauración de manglares en México.

Región	No. Documentos	Año	Tipos de documento
Pacífico Norte.	8	2001,2007,2009,2010 y 2013.	Artículos, tesis, talleres.
Pacífico Centro.	1	2003.	Informe.
Pacífico Sur.	4	2002,2004,2007.	Artículos e informes.
Península de Yucatán.	7	2004,2005, 2007, 2008, 2011 y 2013.	Informes, tesis, programas y artículos.
Golfo de México.	10	1999, 2002, 2005, 2007, 2009, 2010, 2011 y 2013.	Informes, reportes y artículos.



Figura 10. Acciones de restauración implementadas y reportadas en los ecosistemas de manglar en México. A) pasos de agua, B y C) canales, D y E) centros de dispersión, F) reforestación.

1999; Toledo *et al.*, 2001; Reyes y Tovilla, 2002; Agraz y Arriaga, 2010). Estas variables, junto con las de otros componentes (tabla 4), deben continuar en evaluación durante la fase de monitoreo, sin embargo, en los estudios evaluados sólo se reporta un año o máximo tres de mediciones. Cabe resaltar en este punto que la fase de monitoreo de los procesos de restauración es fundamental para la retroalimentación de los proyectos, permitiendo identificar debilidades que pueden y deben corregirse para orientar de manera adecuada la trayectoria sucesional deseada para el ecosistema que se está restaurando.

Otro de los objetivos planteados en estos estudios fue el restablecimiento del flujo de agua y lograr con esto la disminución de la salinidad intersticial. En estos casos se realizaron aperturas o desazolves de canales o manantiales y/o instalación de alcantarillas en carreteras. Las variables indicadoras de éxito fueron: salinidad intersticial y superficial, nutrientes en sedimentos y en agua intersticial e hidroperíodo (Teutli-Hernández, 2004, Alonzo-Parra, 2011; Herrera-Silveira *et al.*, 2012; Zaldívar, 2013).

Sólo un documento reporta la velocidad de la corriente y el transporte de sedimento (Bashan *et al.*, 2013) como variable indicadora del proceso de restauración.

El seguimiento de variables indicadoras que deben ser evaluadas tanto en los sitios de referencia “buenos” y “malos” como en los sujetos a restauración para hacer las respectivas comparaciones. Los resultados del seguimiento son ofrecer los elementos técnicos para realizar cambios o adecuaciones a las acciones con la finalidad de aplicar nuevas medidas dependiendo del éxito obtenido respecto a lo esperado. Sin embargo, en los estudios evaluados el tiempo de seguimiento de las variables es entre 1 a 3 años, por lo que en la revisión bibliográfica fue imposible determinar si los objetivos de restauración se habían cumplido en tiempo y forma. Esto demuestra la importancia que tiene el monitoreo a mediano y largo plazo de los procesos de restauración después de su implementación. Otra ausencia notable en muchos de estos estudios es que no se reporta la caracterización inicial del sitio a restaurar y de sitios de referencia (bueno y malo).

Tabla 4. Variables que deben considerarse para la evaluación y monitoreo de procesos de restauración de manglares.

Componente	Variables
1. Ecológico.	- Riqueza de especies. - Densidad de especies. - Altura. - Diámetro. - Supervivencia.
2. Físico-químico	- Salinidad intersticial y superficial. - Temperatura del agua. - pH. - Potencial redox. - Nutrientes en agua y sedimentos.
3. Hidrología	-Hidroperíodo (nivel, duración y frecuencia de inundación).

La estrategia propuesta (figura 5), debe complementarse con la experimentación a diferentes escalas espaciales (parcela, hectárea, paisaje). Se sugiere que las estrategias en la restauración necesitan ser expandidas desde pequeñas islas degradadas a áreas que abarquen escalas a nivel de paisaje (Kelly *et al.*, 2011). Esta estrategia permitirá que los procesos de restauración faciliten la conectividad entre áreas bien conservadas y acelerar la recuperación de áreas degradadas, lo cual es fundamental para mantener la provisión de servicios ambientales y la conservación de hábitats y especies. Esta restauración de paisaje es necesaria para reducir los impactos que están sucediendo en muchas regiones, aun dentro de áreas naturales protegidas para intentar disminuir la fragmentación de ecosistemas que está causando una fuerte pérdida de biodiversidad, principalmente en ambientes tropicales (Lamb *et al.*, 2005).

Algunos ejemplos de los datos reportados en estos estudios asociados a acciones de reforestación están relacionados con el crecimiento y supervivencia de las plántulas. En la tabla 5 se observa que, dependiendo de las diferentes técnicas implementadas las plántulas al final de la restauración presentan mayor altura, siendo más efectiva la regeneración natural que sucede después de la rehabilitación hídrica. Tovilla *et al.* (2004) registran una altura final 156 cm teniendo como única técnica la reforestación, mientras que Andueza (2011) y Herrera-Silveira *et al.* (2012), realizaron una rehabilitación hidrológica como única acción de restauración, y posteriormente las plántulas se establecieron de manera natural, alcanzando alturas de 54 cm y 96 cm respectivamente (tabla 5).

Para llevar a cabo cualquier acción de restauración esta se tiene que basar en la

caracterización inicial e identificación de las causas de la muerte de manglar, que corresponde a la fase diagnóstica. Sin embargo, en la revisión hecha se observó que son pocos los trabajos donde se lleva a cabo este importante e indispensable paso. Alonzo (2011), Herrera-Silveira *et al.* (2012), y Zaldívar (2013), realizaron acciones de rehabilitación hidrológica después de haber identificado que la salinidad intersticial era elevada y esta variable de estrés ocasionó la muerte del manglar. La salinidad es uno de los factores más determinantes para el mantenimiento del manglar y de las condiciones del medio, por eso es una variable que siempre debe ser monitoreada (tabla 6). La acción realizada en los estudios previamente mencionados fue la rehabilitación de los canales de marea para reconectar zonas o cuerpos de agua con menor salinidad para mejorar el intercambio hídrico, observando que después de 6-10 meses la salinidad intersticial empezó a disminuir. Andueza (2011) reporta una salinidad inicial de 110 g/kg disminuyendo a 40 g/kg en dos años, mientras que en sitios donde se ha realizado la reforestación en zonas elevadas la salinidad aumenta (Benítez, 2007).

La última meta de la restauración es crear un ecosistema autosostenible (autosuficiente), saludable y resiliente a las perturbaciones, para que en el futuro no necesite asistencia humana (Ruiz-Jane y Mitchell, 2005). Para lograr este objetivo es importante la participación de diversos actores durante todo el proceso. La restauración de los ecosistemas de manglar requiere integrar distintos componentes (instituciones gubernamentales y no gubernamentales, sociedad civil, academia, financiadores) y se tiene que realizar a diferentes escalas. Sin embargo, en la práctica es complicada la interacción entre los actores, debido a

Tabla 5. Datos de variables estructurales de diferentes acciones de restauración al inicio y final de los proyectos.

Acción de restauración	Técnica	Variable	Dato inicial	Dato final	Referencia /Institución
Reforestación.	Siembra.	Altura de plántulas (cm).	25	156	Tovilla <i>et al.</i> , 2004/ECOSUR,
Reforestación.	Siembra.	Tasa de crecimiento (mm/día).		5	Tovilla <i>et al.</i> , 2004/ECOSUR,
Aforestación.	Siembra.	Supervivencia de plantulas (%).	50	21	Benitez, 2007/UNAM,
Reforestación diferentes técnicas en el sustrato.	Siembra.	Tasa de crecimiento (mm/día).		0.07	Caamal, 2009/CINVESTAV,
Restauración hidrológica y reforestación.	Siembra.	Altura plántulas (cm).	21	38	Agraz y Arriaga, 2010/ EPOMEX.
Reforestación.	Siembra.	Tasa de crecimiento (mm/día).		1	Agraz y Arriaga. 2010/ EPOMEX.
Restauración hidrológica.	Regeneración natural.	Altura de plántulas (cm).	46	54	Andueza, 2011/CINVESTAV.
Restauración hidrológica.	Regeneración natural.	Tasa de crecimiento (mm/día).		0.25	Andueza, 2011/CINVESTAV.
Restauración hidrológica.	Regeneración natural.	Densidad de plántulas (m ²),	26.5	22	Herrera-Silveira <i>et al.</i> , 2012/ CINVESTAV IPN.
Restauración hidrológica.	Regeneración natural.	Altura de plántulas (cm).	29	96	Herrera-Silveira <i>et al.</i> , 2012/ CINVESTAV IPN.

Tabla 6. Datos de la salinidad intersticial al inicio y final de diferentes actividades de restauración.

Acción de restauración	Actividad	Variable	Inicio de la restauración	Final de la restauración	Referencia Institución
Aforestación .	Siembra .	Salinidad (g/kg).	61	67	Benítez, 2007 / UNAM.
Reforestación	Siembra.	Salinidad (g/kg).	120	78	Caamal, 2009 / CINVESTAV
Restauración hidrológica.	Apertura de canales .	Salinidad (g/kg).	110	40	Andueza, 2011 / CINVESTAV
Restauración hidrológica.	Apertura de canales.	Salinidad (g/kg).	115	61	Alonzo, 2011 / DUMAC
Restauración hidrológica.	Apertura de canales	Salinidad (g/kg)	105	54	Herrera-Silveira <i>et al.</i> , 2012 / CINVESTAV.
Restauración hidrológica.	Apertura de canales.	Salinidad (g/kg).	74?	62	Zaldivar, 2013 / UNIDO

que los objetivos, recursos y tiempos para alcanzar las metas son distintos entre ellos. Sin embargo, si la participación de todos los actores involucrados es activa desde el comienzo del proyecto, se pueden llegar a concertar objetivos y acciones que incluyan las necesidades de todos. La restauración de manglares en México ofrece muchas oportunidades de direccionar preguntas científicas específicas a escalas de población, comunidad y procesos del ecosistema, entendiendo y aplicando conceptos ecológicos básicos como los de sucesión, facili-

tación, que permitan identificar patrones y procesos del ecosistema de manglar. Por otra parte, la restauración de manglares puede abonar mucho a las capturas de carbono como gas de efecto invernadero (GEI) que con el apoyo de las políticas públicas ofrecen amplias oportunidades a corto plazo para el desarrollo de estrategias locales, regionales y nacionales para lograr los compromisos internacionales firmados por México en el tema de reducción de emisiones de GEI.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Todo proyecto de restauración debe incluir un programa de diagnóstico, implementación y monitoreo. En la planeación se deben involucrar diferentes actores y sectores de la sociedad, especialmente a las comunidades locales, ya que generalmente serán ellos quien se encarguen de mantener a largo plazo el proyecto y de hacer el monitoreo correspondiente, por lo que se les debe ofrecer capacitación. Para el monitoreo se deben seleccionar variables específicas que funcionen como indicadores de éxito de las acciones de restauración (características fisiológicas, estructurales, de paisaje, variables fisicoquímicas del sedimento, biológicas de las poblaciones, ecológicas/funcionales). Estas mismas variables deben ser registradas tanto en el sitio en restauración como en el de referencia. El seguimiento de estos indicadores permite en caso de requerirlo, realizar ajustes y modificaciones en el tipo de acciones bajo el concepto del manejo adaptativo. Estos programas de monitoreo permiten identificar si las acciones de restauración están siendo exitosas y te-

ner los resultados de avances, por lo tanto, es importante que se consideren variables para corto, y mediano plazo.

Variables de corto plazo

Una variable indicadora de éxito de corto plazo son las características del hidroperíodo (nivel, duración y frecuencia de inundación). Para la medición de estas variables se emplean medidores automáticos de presión que se deben ubicar en el sitio a restaurar y los de referencia, al menos dos medidores en cada lugar, para conocer el nivel de conectividad del hidroperíodo entre los diferentes sitios. Si la restauración está siendo exitosa, el hidroperíodo del sitio en restauración será similar al de referencia.

Variables de mediano plazo

Se espera que en el mediano plazo (meses), las acciones de restauración propuestas generen modificaciones en las variables de salinidad intersticial, el pH, el potencial redox, los nutrientes en agua y suelo, así como en el reclutamiento de plántulas, su

supervivencia y crecimiento. El monitoreo de las variables físicoquímicas debe ser en las mismas estaciones de muestreo que las utilizadas para la etapa de caracterización y diagnóstico, ya que esta información servirá de referencia como el tiempo 0 (t₀) de la restauración.

El marco regulatorio nacional ofrece oportunidades para la creación de políticas públicas de mitigación dirigidas a la cuantificación, verificación de emisiones de GEI, así como a aumentar los sumideros de carbono, frenar y revertir la deforestación y

su degradación (CCA, 2017). La incorporación de la restauración de manglares en la política pública relacionada con la captura de carbono abonará criterios para mitigar los efectos del cambio climático a través de mecanismos basados en datos de largo plazo. Los créditos de carbono o derechos de emisión generados por la recuperación de manglares, es una opción atractiva para el cumplimiento de metas nacionales e internacionales a las que México se ha comprometido como la firma y ratificación del acuerdo de París.

Literatura citada

- Adams Schroeder, R.H., 1999. Recuperación con mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) de áreas impactadas por hidrocarburos y su manejo como agrosilvo-ecosistema en la zona costera de Huimanguillo y Cárdenas, Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. M076. México D. F.
- Agraz-Hernández, C., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo, y J.J. Jiménez-Zacarías, 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.
- Agraz M.C. y V. Arriaga, 2010. Restauración de manglar en laguna de Términos. En: Carabias, Julia, *et al.* (coords.), Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Andueza, B.M.T., 2011. Análisis del crecimiento de manglar bajo gradientes ambientales en una zona de rehabilitación hidrológica y reforestación en Celestún, Yucatán. Tesis Licenciatura. Escuela de Biología, Facultad de Veterinaria, UADY, México. 68 p.
- Alonso-Pérez F., A. Ruiz-Luna, J. Turner, C.A. Berlanga-Robles, y G. Mitchelson-Jacob. 2003. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, México. *Ocean & Coastal Management*, 46:583-600.
- Alonso P. D., 2011. Mejoramiento de humedales de zonas cársticas y semiáridas de la Península de Yucatán - subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena). Ducks Unlimited de México A.C. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto HH002. México, D.F.
- Bashan, Y., M. Moreno, B.G. Salazar, y L. Alvarez, 2013. Restoration and recovery of hurricane-damaged mangroves using the knickpoint retreat effect and tides as dredging tools. *Journal of Environmental Management*, 116:196-203
- Benitez, P.D., 2007. Forestación artificial con manglares en isletas de dragados en una región semiárida de México. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional Centro interdisciplinario de ciencias marinas. 104 pp.
- Berlanga-Robles C., y Ruiz-Luna. 2007. Análisis de tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 23 (3):29-46.
- Caamal S. J.P., 2009. Estrategias y acciones de restauración del manglar en Isla Arena. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Conkal. 78 p.

- CCA, 2017. Análisis de las oportunidades para la integración del concepto de carbono azul en la política pública mexicana, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 102 pp
- CONABIO, 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Davies S.P., y S. K. Jackson, 2006. A Descriptive Model for Interpreting Change in Aquatic Ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4):1251-1266.
- Donato, D. C., J.B. Kauffman, D. Murdiyarsa, S. Kurnianto, M. Stidham, y M. Kanninen, 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5): 293-297.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2007. The world's mangroves 1980–2005. FAO, Rome. FAO Forestry Paper. 153.
- Field CD., 1995. Impact of expected climate change on mangroves. *Hydrobiologia*, 295: 75–81
- Flores M. M.A., A. Aguirre Vallejo, M. Flores Hernández, y G. Guardado, 2010. El impacto que produce el sector turismo en los manglares de las costas mexicanas. *ContactoS*, 77: 33-38.
- Giri, C., E. Ochieng, L.L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek, y N. Duke, 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 201(1): 154-159.
- Herrera-Silveira, J.A., F.A. Comín, y F.L. Capurro F. L. 2005. Los Usos Y Abusos De La Zona Costera En La Península De Yucatán, 387-396. En: Rivera, A.E., G. Villalobos-Zapata, M. F. Rosado, y A. I. Azuz, (Eds). El Manejo Costero en México. Univ.Autón. De Campeche-SEMARNAT-CETYS Univ.-Univ. de Quintana Roo, 654 p.
- Herrera-Silveira, J. A., A. Zaldivar-Jimenez, C. Teutli-Hernández, R. Pérez-Ceballos, J. Caamal, y T. Andueza. 2012. Rehabilitación de manglares en el estado de Yucatán sometidos a diferentes condiciones hidrológicas y nivel de impacto: el caso de Celestún y Progreso. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. Unidad Mérida. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto GH009. México, D.F.
- Hirales-Cota M., J. Espinoza-Avalos, B. Schmoock, A. Ruiz-Luna, y R. Ramos-Reyes. 2010. Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México. *Ciencias Marinas*, 36(2): 147–159
- Jackson L.L., N. Lopukhine, y D. Hillyard, 1995. Commentary: Ecological Restoration a Definition and comments. *Restoration Ecology*, 3(2): 71-75
- Kelly M., K.A. Tuxen y D. Stralberg, 2011. Mapping changes to vegetation pattern in restoring wetland: finding pattern metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological indicators*, 11(2): 263-273.
- Lamb D., PD. Erskine, u JA. Parrotta, 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310(5754): 1628-1632
- Lara-Lara, J. R., J. A. Arreola Lizárraga, L. E. Calderon Aguilera, V. F. Camacho Ibar, G. De La Lanza Espino, A. Escofet Giansone, M. I. Espejel Carvajal, M. Guzmán Arroyo, L. B. Ladah, M. López Hernández, A. E. Meling López, P. Moreno Casasola Barceló, H. Reyes Bonilla, E. Ríos Jara, y J. A. Zertuche González. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. p. 109-134. En: J. Soberón, G. Halfter y Jorge L. Lorente (Eds.), Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. ISBN: 978-970-90-0000-0. (PA: 85465).
- Lechuga D. C., 2009. Taller: Definición de prioridades de conservación y restauración de humedales en la región noreste. Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del noreste, S.C.
- Lechuga D. C., 2009. Taller: Definición de prioridades de conservación y restauración de humedales en la región noreste. Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del noreste, S.C.
- Lewis III R.R., 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forest. *Ecological Engineering*, 24: 403-418.
- Lopez-Portillo J. y Ezcurra E. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*. Número especial: 27-5.
- Milbrandt, E.C., y M.N. Tinsley, 2006. The role of saltwort (*Batis maritima* L.) in regeneration of degraded mangrove forests. *Hydrobiologia*, 568: 369-377.
- Moreno C.P., G.J.L. Rojas, D. L. Zárate, P. M.A. Ortiz, D. A.L. Lara, y V. T. Zaavedra. 2002.

- Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*, Número especial: 61-88.
- Olguín J.E., M. E. Hernández, y G. Sánchez-Galván. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23 (3): 139-154.
- Paez-Osuna F., S. R. Guerrero-Galvan, y A.C. Ruiz-Fernández. 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in México. *Marine Pollution Bulletin*, 36(1): 65-75.
- Peresbarbosa, E. 2006. Manejo integral de la zona costera. p. 21-54. En: Moreno-Casasola, P., Peresbarbosa E. y Travieso-Bello, A.C. (eds.). Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas, (SEMARNAT)- Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Ver., México.
- Proffitt, C.E., y D.J. Devlin, 2005. Long-term growth and succession in restored and natural mangrove forests in southwestern Florida. *Wetlands Ecology and Management*, 13:531-551.
- Reyes Chargoy M. A., y C.H. Tovilla, 2002. Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la costa de Chiapas. *Madera y Bosques*, 1: 103-114.
- Ruiz-Jane M., y M. Aide, 2005. Restoration success: how is it being measured? *Restoration Ecology*, 13(3): 569-577.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (SER), 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona (available from www.ser.org) accessed April 2005.
- Teutli-Hernández C. 2004. Estimación del éxito de la restauración hidrológica de zonas de manglar en el norte de Yucatán, México. Tesis Licenciatura. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 51 p.
- Teutli-Hernández, C., y J.A. Herrera-Silveira, 2016. Capítulo 20: Estrategias de restauración de manglares de México: el caso Yucatán. En: Ceccon E. y Martínez-Garza, coordinadoras. Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. Primera edición. Cuernavaca Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Universidad Autónoma del Estado de Morelos; Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 577 p.
- Toledo G., A. Rojas, y Y. Bashan. 2001. Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 444:101-109
- Turner, R.E., y R.R. Lewis, III, 1997. Hydrologic restoration of coastal wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 4(2): 65-72.
- Twilley R.R., V.H. Rivera-Monroy, R. Chen, y L. Botero. 1998. Adapting an Ecological Mangrove Model to Simulate Trajectories in Restoration Ecology. *Marine Pollution Bulletin*, 37: 8-12.
- Tovilla C., y D.E. Orihuela, 2004. Impacto del huracán Rosa sobre los bosques de manglar de la costa norte de Nayarit, México. *Madera y Bosques*, 2: 63-75
- Tovilla, C., A. Román, G. Simuta, y R. Linares, 2004. Recuperación del manglar en la Barra del Río Cahoacán, en la costa de Chiapas. *Madera y Bosques*, número especial 2: 77-91
- Valderrama L., C. Troche, M.T. Rodríguez, D. Marquez, B. Vázquez, S. Velázquez, A. Vázquez, M. I. Cruz y R. Ressler. 2014. Evaluation of mangrove cover changes in Mexico during the 1970-2005 period. *Wetlands*, 34:747-758.
- Valderrama-Landeros L. H., M.T. Rodríguez-Zúñiga, C. Troche-Souza, S. Velázquez-Salazar, E. Villeda-Chávez, J.A. Alcántara-Maya, B. Vázquez-Balderas, M.I. Cruz-López, R. Ressler, 2017. Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980–2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, 128 p.
- Valiela, I., J.L. Bowen, y J.K. York, 2001. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments: At least 35% of the area of mangrove forests has been lost in the past two decades, losses that exceed those for tropical rain forests and coral reefs, two other well-known threatened environments. *Bioscience*, 51(10): 807-815.
- Zaldivar J. A., 2013. Technical Guideline for mangrove ecosystem conservation and ecological. Integrated assessment and management of the Gulf of Mexico large marine ecosystem.

Zamora T. C., 2007. Restauración de la Cuenca Hidrográfica de la Laguna Madre. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Instituto de Ecología Aplicada. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CJ069, México D. F.

Almacenes de carbono en los manglares de Centla, Tabasco, asociado a gradientes ambientales y grado de conservación

*C.M. Agraz Hernández, C. A. Chan Keb, J. Chavez Barrera,
A.C Ruiz Fernandez, J.M. Labougle, J. Reyes Castellanos,
K. P. Conde Medina, F. Escamilla Escamilla,
L. Ángulo Padilla, S.J. Guzmán y J. Osti Sáenz*

Resumen

Los manglares ubicados en las márgenes del río San Pedro y San Pablo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, son considerados uno de los principales sumideros de carbono azul en el golfo de México, debido a que son ecosistemas altamente productivos. Sin embargo, estos bosques han sido impactados por actividades antro-

pogénicas, que han reducido el grado de conservación y servicios ambientales. La presente investigación definió el grado de impacto que estos bosques presentan a partir de la estructura y las condiciones ambientales del suelo y agua; así como este grado de impacto se relaciona con los almacenes de carbono en árboles vivos y sedimento. Con base en esto, se proponen distintas opciones para el manejo del manglar de acuerdo al uso que recibe por parte de propietarios del suelo y de usuarios de los recursos. Los resultados exhiben un gradiente ambiental asociado al impacto antrópico en los manglares pues, los atributos forestales (área basal y densidad) han disminuido en un 40%, registrando fisonomías de tipo cuenca a borde con tendencia ribereño en la zona norte y centro, en comparación con los bosques de tipo ribereño de la zona sur. Además, las diferencias obtenidas en la biomasa arbórea entre sitios ($p \leq 0.0001$), y la relación entre la biomasa y área basal de todos los sitios ($R^2 = 0.93$, $p \leq 0.0001$) demostraron el efecto negativo en la fijación de dióxido de carbono, al alterarse la estructura y función del ecosistema de mangle, derivado de los cambios ambientales. Sin embargo, a pesar de registrar severas alteraciones en la estructura, los manglares que bordean el río San Pedro y San Pablo, constituyen un importante almacén de carbono en términos de biomasa arbórea en comparación con otros manglares de México, lo cual destaca la importancia de su conservación. En el caso del carbono orgánico en el sedimento de los manglares del área en estudio, se registraron las mayores concentraciones en bosques donde la condición de oxidación-reducción (potencial redox) era más oxidado, ya que se observó una relación directamente proporcional positiva ($R^2 = 0.74$, $p \leq 0.0001$) entre el valor del potencial redox y la concentración del carbono orgánico. El almacén de carbono en general en los sitios de estudio mostraron una disminución a una profundidad 30-50 cm, con respecto a los registros efectuados en el año 2015 por otros autores, lo cual demostró la vulnerabilidad de la permanencia de carbono secuestrado en el sedimento, debido a cambios en la hidrología, aporte de nutrientes y variaciones interanuales en la productividad primaria. Finalmente, para facilitar a los usuarios y tomadores de decisiones la comprensión de la estructura, el funcionamiento y grado de salud del ecosistema, se definieron tres Unidades Ambientales (UA) con diferentes niveles de impacto y cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y sedimentos ($p < 0.05$). Esta respuesta morfofisiológica de los manglares y su capacidad de almacenamiento de carbono se atribuyó al estrés antrópico que cada UA presenta (33.4 % de bosques en el estudio presentan un grado de conservación impactado y 66.6 % con mediano impacto). Con los resultados obtenidos en esta investigación, se ofrecen recomendaciones que apoyarán las estrategias, políticas de conservación y restauración de los ecosistemas de manglar, con prácticas de manejo de recursos para mejorar la adaptación al cambio climático basada en ecosistemas (EbA), considerando el grado de impacto, la capacidad de almacenes de carbono y condiciones ambientales de los bosques de mangle en estudio. Las prácticas que se propondrán se basan en el sistema de salvaguardas sociales y ambientales (SES), así como en el enfoque fundamentado en derechos (RBA), que son prácticas internacionales en el manejo de recursos y en la protección de ecosistemas para mejorar la adaptación al cambio climático basada en ecosistemas (EbA) y la adaptación enfocado hacia las comunidades (AbC).

Palabras clave: carbono, cambio climático, deforestación, impacto ambiental, manglares.

Introducción

El almacenamiento de carbono es uno de los servicios ambientales más importantes que ofrecen los manglares, ya que contribuye a la mitigación de los gases de invernadero que han provocado el cambio climático (Kauffman *et al.*, 2013). Estudios recientes indican que, a pesar de que los manglares cubren <1 % (13 776 000 ha) del área costera global (Giri *et al.*, 2011), almacenan del 15 al 25 % del carbono sedimentario costero y capturan de dos a cuatro veces más carbono al año, que cualquier ecosistema forestal maduro e incluso comparado con bosques tropicales, almacenan entre tres y cinco veces más carbono por hectárea (CCA, 2017). Considerando sólo a los manglares, la eficiencia en la capacidad de fijación del CO₂ atmosférico depende principalmente de los atributos forestales y productividad del bosque, así como de la edad de los árboles y la eficiencia fotosintética de cada especie (Siteo *et al.*, 2014); y estos a su vez, de las características fisicoquímicas del agua y suelo, topografía e hidroperiodo, dinámica de los sedimentos y el clima. Ésta es la razón por la cual la capacidad de fijación y almacenamiento de carbono en los manglares exhibe amplia variabilidad a nivel global, regional y local (Piedra y Sierra, 2014; Adame *et al.*, 2018).

Sin embargo, a pesar de que México es uno de los cuatro países con mayor extensión de manglares entre los 125 países y territorios que registran este ecosistema (cobertura estimada de 770 057 ha; Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013), se ha estimado una pérdida del 34 % de la cobertura nacional (INEGI, 2000). Su destrucción obedece principalmente a las actividades antropogénicas, debido al mal manejo y a

una visión económica a corto plazo, con impactos que superan la velocidad de recuperación del ecosistema (Agraz Hernández *et al.*, 2007). Este es un escenario preocupante, puesto que la pérdida en la cobertura de manglar contribuye a la reducción de los servicios ecosistémicos y al aporte de aproximadamente 10 % de las emisiones de GEI globales (Donato *et al.*, 2011).

Los manglares que bordean el río San Pedro y San Pablo se ubican en la Reserva de la Biosfera Pantano de Centla, declarado como sitio RAMSAR y es un referente nacional como almacén de carbono azul en México (Cáliz *et al.*, 2002; Guerra-Martínez y Ochoa-Gaona, 2006); sin embargo, se pronóstica la disminución de la capacidad del secuestro de carbono el humedal, debido principalmente a la deforestación (tasa de pérdida de 63.53 ha año⁻¹), lo cual implica que de los manglares en los Pantanos de Centla se emitirán gases de efecto invernadero, superando el 66.3 % Mg CO₂ eq., por cada hectárea de manglar perdido (Kauffman *et al.*, 2016). Ésta es la razón por la que esta investigación evaluó los cambios en la reserva de carbono en los bosques de mangle que bordean el cauce del río San Pedro y San Pablo en Pantanos de Centla, con base en gradientes ambientales y grados de conservación, mediante ponderaciones de parámetros fisicoquímicos del agua intersticial, utilizando modelos estocásticos y la inclusión de la variable de presión antrópica. Esta estrategia permitirá aportar recomendaciones que apoyen la determinación de estrategias y políticas vigentes, conducentes a mejorar la conservación y restauración de los ecosistemas de manglar.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla Tabasco, México, en la frontera de los estados de Tabasco y Campeche, entre las coordenadas 17°57'53'' y 18°39'03'' de latitud norte y los 92°06'39'' y 92°47'58'' de longitud oeste (figura 1). Los Pantanos de Centla es un gran complejo de humedales de deltas de los ríos Grijalva y Usumacinta. Estos dos ríos contienen el 28 % de todas las aguas superficiales en México. La precipitación anual promedio de la región es de $1\,693 \pm 530$ mm, con máximos de junio a octubre. La temperatura media anual es de 27 ± 5 °C. Los manglares se distribuyen en el borde del cauce del río San Pedro y San Pablo a lo largo de 20 km, con presencia de tres especies arbóreas dominantes *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* (Kauffman *et al.*, 2016).

De acuerdo con el conocimiento local, los bosques de mangle que bordean el río San Pedro y San Pablo, presentan una fuerte presión por diversas actividades antropogénicas, como son la actividad ganadera, agricultura, deforestación, aporte de agua residual y asentamiento urbanos, entre otros. No obstante, en la desembocadura del río, se registran relictos de árboles de mangle que describen la fisonomía original, con altura de más de 20 m.

Con base a la problemática que registra el área de estudio y la estructura forestal prevaliente en el mangle, se establecieron a lo largo del cauce del río, 10 sitios de muestreo (figura 1).

Estructura forestal

La estructura forestal de los bosques de mangle se determinó por el método de cuadrantes por sitio, de acuerdo con los criterios de Moreno-Casasola y López (2009) y se establecieron dos parcelas de muestreo de 0.01 ha por sitio, con base a los cambios en los atributos forestales la vegetación o especie de mangle desde la orilla hasta el interior del bosque. En cada cuadrante se contabilizó el número de total de árboles y se midió el diámetro a una altura de 1.30 m en *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, y a 30 cm por arriba de la última raíz en *Rhizophora mangle*. Los tipos fisonómicos fueron definidos a partir de lo descrito por Flores-Verdugo *et al.* (1992), con base al área basal, densidad y altura de los árboles.

Parámetros físicos y químicos del agua intersticial

En cada parcela de los sitios en estudio se instaló un piezómetro a 50 cm de profundidad del suelo (profundidad donde se localizó la máxima biomasa radicular), construido con tubos de PVC de 10 cm diámetro y 1.5 m de longitud, que contaban con orificios de 1 cm en la parte inferior. Las condiciones de oxido-reducción en el agua intersticial fueron medidas a través del potencial redox, con una sonda multiparamétrica, modelo HACH HQ40d. La salinidad se determinó con un refractómetro A&O, con intervalo de medición de 0 a 100 PSU (Agraz-Hernández *et al.*, 2011). Para la determinación de la concentración de los nutrientes, en cada piezómetro se extrajo agua intersticial mediante una bomba

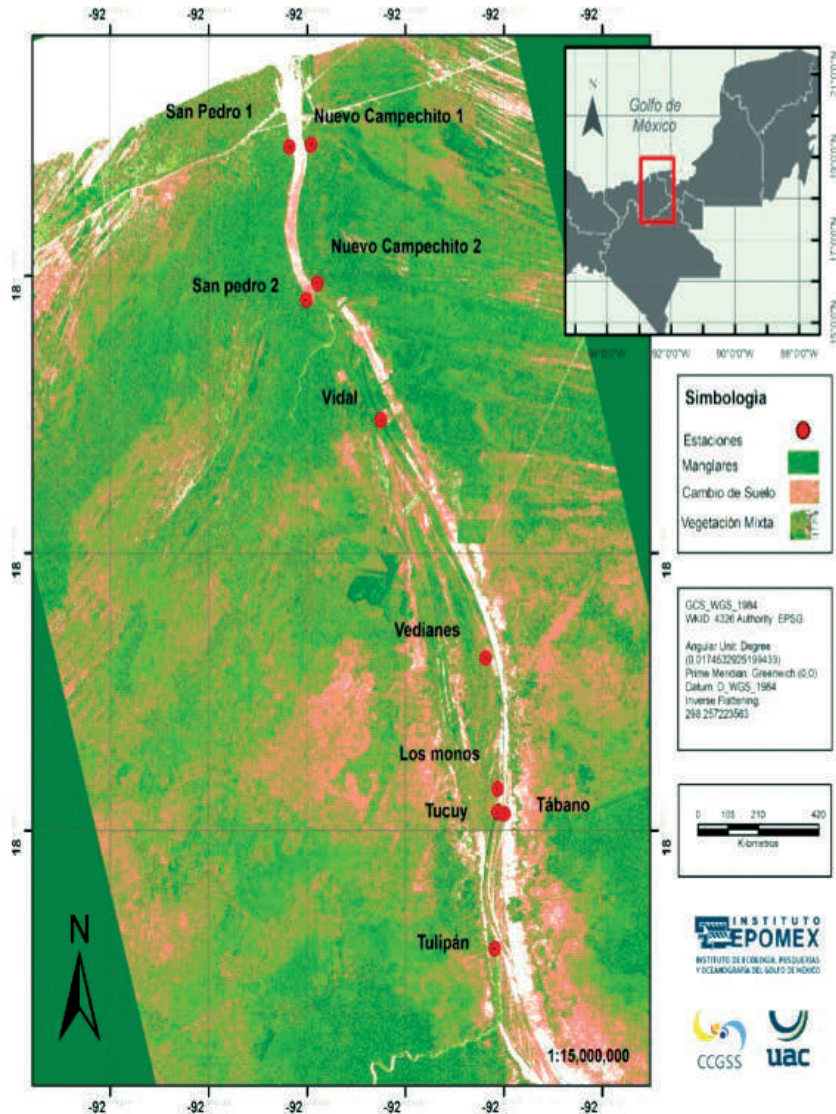


Figura 1. Sitios en estudio en el ecosistema de mangle bordean el cauce del río San Pedro y San Pablo del Pantano de Centla, Tabasco.

de vacío y se recolectó muestras para determinar cationes y aniones, cada uno en un frasco de plástico de 50 ml previamente lavados con una solución de 5 % de HCl, y enjuagado con agua ultrapura bidestilada (DDH_2O). A la muestra para el análisis de

cationes (NH_4^+) se le agregó una gota de fenol para disminuir la actividad bacteriana. Las muestras fueron almacenadas a -4°C , y procesadas bajo criterios de Lenore *et al.* (1989) para el análisis por cromatografía iónica (IC advanced 861).

Biomasa y almacén de carbono en los árboles

La estimación de la biomasa aérea y subterránea fue calculada mediante las ecuaciones alométricas de Chave *et al.* (2005) y Komiyama *et al.* (2005), respectivamente. Para determinar la densidad de la madera se seleccionaron 3 árboles por clase diamétrica y especie de mangle en cada sitio de muestreo, a partir de los datos diamétricos generados *in situ* durante la determinación de la estructura forestal y con base al método de Sturges (1926). A cada árbol seleccionado se le extrajeron dos núcleos de madera de acuerdo con el método descrito por Chave (2002).

El almacén de carbono en la biomasa aérea (por arriba del suelo) se calculó como la sumatoria de las fracciones aérea (producto de la biomasa en peso seco por un factor de 0.5; Kauffman *et al.*, 2016) y subterránea (producto de la biomasa de las raíces por un factor de 0.39; Kauffman *et al.*, 2016) y los valores se expresan como Mg ha⁻¹.

Almacén de carbono orgánico, nitrógeno total y densidad aparente en el suelo

Para cuantificar el carbono secuestrado en el suelo se analizaron núcleos sedimentarios, recolectados en cada parcela de muestreo, por medio de tubos de PVC con un diámetro de 10 cm y longitud de 70 cm. Cada núcleo fue seccionado en intervalos de 0-15, 15-30 y 30-50 cm de profundidad, de acuerdo con los criterios de Kauffman *et al.* (2016). Cada muestra fue liofilizada, triturada y homogenizada con los equipos Liofilizadora LyoQuest-55 y TissueLyser II. A cada sección de sedimento se le determinó la densidad aparente (g cm⁻³) mediante la división del peso seco y el volumen de la muestra, y se le determinó la concentra-

ción de carbono orgánico y nitrógeno total. La concentración de carbono orgánico y nitrógeno total se cuantificó en el Laboratorio de Humedales Costeros-EPOMEX, mediante un analizador elemental Flash 2000 Organic Elemental Analyzer, C-N-S con detector de conductividad, con base al método descrito por Siteo *et al.* (2014); y Krauffman *et al.* (2017). El almacén de carbono en el suelo se determinó sumando la masa de carbono obtenida a cada profundidad muestreada aplicando la ecuación descrita por Kauffman *et al.* (2017).

Determinación del grado de conservación de los bosques de manglar

Los sitios de manglar se agruparon con base a los atributos forestales, parámetros fisicoquímicos del agua intersticial y suelo, mediante un análisis de conglomerados. Se generó un dendrograma que representa una serie de zonas homogéneas de manglar que se denominaron Unidades Ambientales (UA), a las cuales se le determinó su correspondiente grado de conservación.

El grado de conservación definió el nivel de impacto que presenta cada unidad ambiental, aplicando la ecuación de probabilidad estocástica de Chan Keb (2014), utilizando los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial, secuestro de carbono en el suelo y biomasa arbórea (biomasa aérea más subterránea), así como las actividades antrópicas, una vez transformadas a variables cuantitativas (0 con presencia y 1 ausente). Los valores de probabilidad fueron ponderados a un grado de conservación (tabla 1). Esto con base a los promedios generados de la matriz de datos, clasificándose como: I. Conservado; II. Bajo impacto; III. Mediano impacto; IV Impactado.

Tabla 1. Ponderación de los valores de probabilidad de acuerdo al grado de conservación.

Probabilidad de x (P(A))	Grado de conservación	Valor de ponderación
0 – 0.25	Impactado	0
0.26 – 0.50	Bajo impacto	1
0.51 – 0.75	Mediano impacto	2
0.76 – 1.00	Conservado	3

Análisis estadístico

Se elaboró una base de datos con los diámetros, área basal, altura, biomasa aérea y subterránea de 10 sitios de manglar en el área en estudio, así como con las concentraciones de carbono orgánico en el sedimento, la densidad aparente del suelo, el secuestro de carbono y los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial (pH, potencial redox, salinidad y nutrientes). Se evaluó la normalidad de las variables con el método de Shapiro y Wilks (1965) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y, al no cumplir con el supuesto de distribución normal, los datos se transformaron usando el método de Box-Cox como recomienda Zar (2010). Se aplicó un análisis multivariado de cluster a las variables biológicas y los parámetros fisicoquímicos del agua intersti-

cial, usando el método de enlace de Ward y la distancia de Manhattan, generando tres Unidades Ambientales (UAI, UAII y UAIII). Para determinar la variación entre las UA, se realizó un análisis de varianza de una vía y una prueba *post hoc* usando el método de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD), con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Por cada UA se realizó un análisis de Componentes Principales con los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial. Por último, se realizó un análisis de regresión lineal simple para establecer la relación entre la concentración del carbono orgánico con el potencial redox, y entre la biomasa aérea y el área basal de los árboles. Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando STATISTICA V.12 (StatSoft, Inc., Palo Alto, CA, USA, 1984–2014).

Resultados

Unidades Ambientales de manglar

Con base a la similitud entre los atributos forestales y los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial y suelo a lo largo de los perfiles de vegetación (figura 2), seguido de una validación mediante tres análisis de ANOVA de una vía (tabla 2) se establecieron tres UA.

Estructura forestal y condiciones ambientales del agua intersticial

La UA-I corresponde a los sitios cercanos a la desembocadura del río. Se caracterizó por presentar bosques mixtos de tipo ribereño, dominados por *R. mangle* (46 ± 8 %), *A. germinans* (33 ± 6 %) y la presencia de algunos individuos de *L. racemosa* (21 ± 5 %). Se encontró que los árboles de *A.*

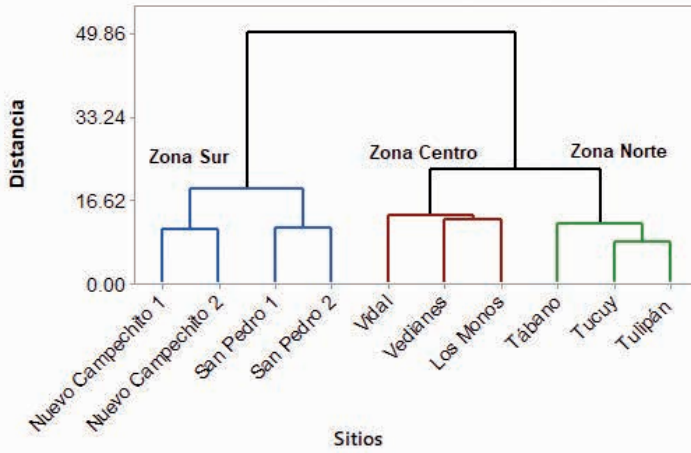


Figura 2. Análisis multivariado de Clúster a partir de los atributos forestales, parámetros fisicoquímicos del agua intersticial y sedimento de los bosques de mangle que bordean el río San Pedro y San Pablo, Pantanos de Centla, Tabasco. Las líneas de color azul corresponden a la Unidad Ambiental I (zona sur), la de color rojo refiere a la Unidad Ambiental II (zona centro) y el color verde indica la Unidad Ambiental III (Zona norte).

Tabla 2. Tres ANOVA de una vía por unidades ambientales I, II y III, con respecto a los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial de los bosques de mangle que bordean el cauce de río San Pedro y San Pablo del Pantano de Centla, Tabasco (* $p < 0.05$).

Parámetros	gl (Factor, error)	Estadístico F	Valor de p
Parámetros fisicoquímicos del agua intersticial			
Temperatura (°C)	(2, 31)	4.07	0.027*
Potencial redox (mV)	(2, 31)	1.27	0.296
Salinidad (UPS)	(2, 31)	21.13	0.0001*
pH	(2, 31)	1.07	0.354
NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	(2, 31)	57.52	0.0001*
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	(2, 31)	28.50	0.0001*
NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	(2, 31)	4.89	0.014*
PO ₄ ⁻³ (mg L ⁻¹)	(2, 31)	1.46	0.247
SO ₄ ⁻² (mg L ⁻¹)	(2, 31)	13.86	0.0001*
Parámetros fisicoquímicos del suelo			
Carbono orgánico (%)	(2, 97)	17.34	0.0001*
Nitrógeno total (%)	(2, 97)	8.33	0.0001*
Densidad aparente (g cm ⁻³)	(2, 97)	12.39	0.0001*
Atributos forestales			
Densidad de árboles (indv. ha ⁻¹)	(2,31)	0.31	0.732
Área basal (m ² ha ⁻¹)	(2, 31)	4.41	0.021*

germinans y *L. racemosa* tuvieron mayor área basal que *R. mangle* (tabla 3). Las condiciones fueron mesohalinas (31 ± 17 UPS), con temperaturas de $27.48 \pm 0.29^\circ\text{C}$ y pH neutro (6.50 ± 0.40). Se observaron valores de potencial redox que indicaron niveles óxicos (-200.40 ± 54.90 mV) y concentraciones de nitritos y nitratos, más altos que en las UA-II y UA-III (figuras 3 y 4).

Del análisis de componentes principales, que incluyó las variables biológicas y de química del agua intersticial, se encontró que las variables determinantes para la conservación del humedal en la UA-I son la salinidad, nitritos y sulfatos (primer componente) y el pH (segundo componente) (tabla 5).

La unidad ambiental UA-II, ubicada principalmente en la zona Centro del área en estudio, exhibió en general fisonomía de

tipo borde, dominado ligeramente por *L. racemosa* (55 ± 10 %), seguido de *R. mangle* (45 ± 10 %) (tabla 3). La salinidad se clasificó de tipo oligohalina (9 ± 3.5 UPS), con condiciones más reducidas con respecto a la UA-I, de tipo óxico-hipóxico (-231.20 ± 74.50 mV), pH neutro (6.42 ± 0.35) y temperatura de $27.60 \pm 0.2^\circ\text{C}$ (figura 3) y presentó menor concentración en todos los nutrientes, que en las unidades ambientales UA I y III (figura 4).

Con respecto a los componentes que establecen el grado de conservación de la UA-II, los factores determinantes en el componente 1 fueron los nutrientes y en el componente 2, la concentración del amonio (tabla 5).

En la UA-III se agruparon los sitios de la zona Sur, con dominancia de *L. racemosa* (80 ± 19 %) y la presencia de *R. mangle* (20

Tabla 3. Variables de la estructura forestal de los bosques de mangle que bordean el cauce del río San Pedro y San Pablo del Pantano de Centla, Tabasco.

Bosques	Área basal (m ² ha ⁻¹)/±sd	Densidad (ind ha ⁻¹)/±sd	Altura (m)/±sd	Especie dominante (%)			Tipo fisonómico*
				A. g	L. r	R. m	
UA-I (zona Sur)							
Nuevo Campechito 1	31.8±11.1	1083±446	14.5±2	54	9	37	R
Nuevo Campechito 2	20.1±6.3	800±320	14.2±0.5	48	11	41	R
San Pedro 1	34.7±22.2	1 475±512	12.7±2.1	16	24	60	B-R
San Pedro 2	36.3±8.6	993±203	14.5±1.9	14	42	44	
UA-II (Zona Centro)							
Los Monos	10.7±9.4	167±130	17.8±3.2		50	50	B-R
Vedianes	38.4±16.1	851±553	18.9±5.0		49	51	R
Vidal	20.7±12.4	3 325±2322	12.4±2.2		66	34	B-R
UA- III (Zona Norte)							
Tábano	5.2±4.0	1 442±496	7.2±1.1		50	50	C
Tucuy	11.7±9.1	500±70	11.81±5.4		82	18	C
Tulipán	2.9±0.9	620±367	6.25±0.4		100		C

sd = Desviación estándar; R.m = *Rhizophora mangle*; L.r = *Laguncularia racemosa*; A.g = *Avicennia germinans*.

*Tipo Fisonómico: R = Ribereño; B-R = Borde con tendencia a Ribereño; C = Cuenca. UA#: Unidad Ambiental y numero.

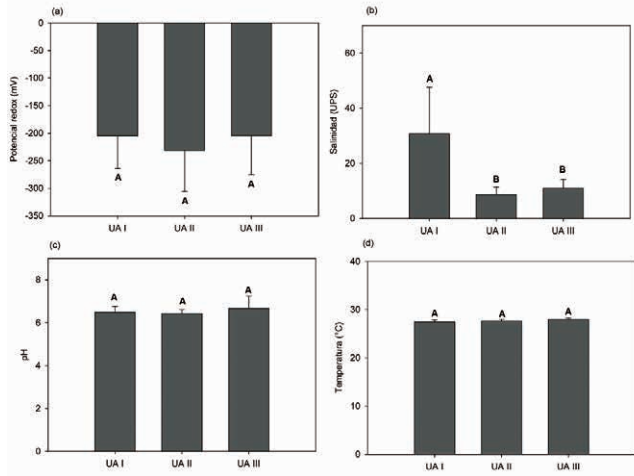


Figura 3. Parámetros fisicoquímicos del agua intersticial en los bosques de mangle que bordean el río San Pedro y San Pedro, Tabasco. *Las UA que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

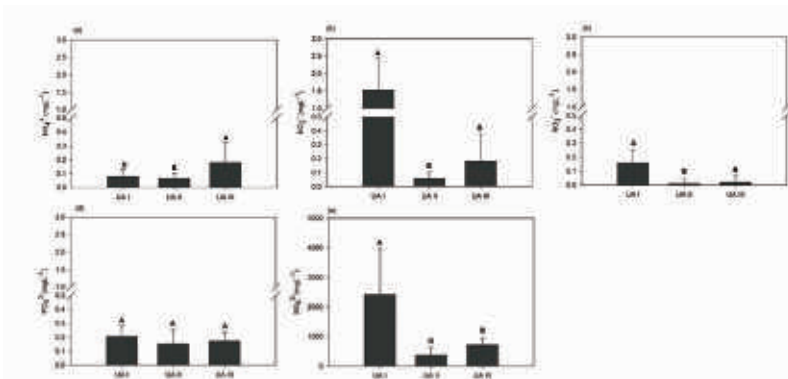


Figura 4. Concentración de nutrientes del agua intersticial en los bosques de mangle que bordean el río San Pedro y San Pedro, Tabasco. *Las UA que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Tabla 4. Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos y variables biológicas en la UA-I, establecido a partir de los bosques de mangle que bordean el río San Pedro y San Pedro, Tabasco.

Variable	Componente I (32.2 %)	Componente II (50 %)
AB ($m^2 ha^{-1}$).	0.066	-0.201
Densidad ($ind. ha^{-1}$).	0.157	0.246
Altura (m).	-0.148	-0.543
pH.	0.137	0.542
Temperatura ($^{\circ}C$)	0.281	0.179
Potencial redox (mV)	0.33	-0.323

Tabla 5. Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos y variables biológicas en la UA-II, ubicada al centro del río San Pedro y San Pablo en la Reserva de la Biosfera Centla, Tabasco.

Variables	Componente I (72.4 %)	Componente II (22.5 %)
AB (m ² ha ⁻¹).	-0.333	-0.081
Densidad (ind*ha).	-0.232	0.444
Altura (m).	-0.143	-0.516
ph.	0.303	0.251
Temperatura (°C).	0.276	-0.001
Potencial redox (mV).	0.326	-0.166
Salinidad (UPS).	-0.251	-0.398
Nitrito (NO ₂ ⁻).	0.336	-0.002
Nitrato (NO ₃ ⁻).	0.334	-0.068
Fosfato (PO ₄ ⁻³).	0.336	-0.02
Sulfato (SO ₄ ⁻²).	0.336	-0.011
Amonio (NH ₄ ⁺).	0.163	-0.525

± 19%), con fisonomía tipo cuenca (tabla 3). Las áreas basales de los árboles fueron significativamente mayores en la UA-I, con respecto a la UA-II y UA-III ($F_{2,31} = 4.41$, $p \leq 0.021$). La densidad de los bosques fue mayor en la UA-III, esta unidad se caracterizó por tener una salinidad oligohalina y condiciones óxicas (11.0 ± 3.0 ups y 204.7 ± 70.60 mV), con un pH neutro (7.01 ± 0.33) y temperatura de 27.97 ± 0.55 °C (figura 3); y mostró mayores/menores concentraciones de nitrito, nitrato y amonio en el agua intersticial que en las otras dos unidades ambientales (figura 4). El grado de conservación de la UA-III se definió con base a los nutrientes y sulfatos (componente 1) y la salinidad y el pH (componente 2) (tabla 6).

Condición ambiental del suelo

Las características fisicoquímicas del suelo establecen la menor densidad aparente y mayor concentración de carbono orgáni-

co (C_{org}) y nitrógeno total (NT) en la UA-II, comparado con la UA-III, que presentó la mayor densidad de suelo, pero la menor concentración de C_{org} y NT (tabla 7). En el caso de la UA-I, los parámetros físicos y químicos del suelo estableció condiciones intermedias a la UA-II y III (tabla 7). Se registraron diferencias significativas entre las UA, con respecto a las concentraciones de C_{org} y la densidad aparente ($F_{2, 97} = 17.37$, $p = 0.0001$; $F_{2, 97} = 12.39$, $p = 0.0001$). Además, se registró correlación entre las concentraciones de C_{org} y nitrógeno total en el suelo ($r = 0.809$, $p = 0.0001$); con diferencias significativas entre unidades ambientales con respecto a la cantidad de nitrógeno total ($F_{2, 97} = 8.33$, $p = 0.0001$), en donde la mayor cantidad se registró en la UA-II. Asimismo, la concentración de carbono orgánico presentó una relación inversa entre el potencial redox del agua intersticial ($Y = -0.044 - 3.3$, $R^2 = 0.74$, $p \leq 0.0001$) en los sitios que bordean el cauce del río.

Biomasa arbórea y almacén de carbono

La biomasa de árboles vivos disminuyó desde la UA-I hasta la UA-III ($F_{2,31} = 8.57$, $p = 0.0001$), con un promedio de 574.31 ± 262.10 y 180.48 ± 139.14 Mg ha⁻¹, respectivamente (figura 5a); y se observó una correlación directa entre la biomasa arbórea y el área basal ($R^2 = 0.93$, $p \leq 0.0001$. Figura 5b).

Se observó un menor almacenamiento de carbono en las UA I y III, en comparación con la UA-II ($F_{2, 11} = 6.51$, $p = 0.027$) (Figura 6). En particular el almacén de carbono en la UA-II registró un comportamiento inverso entre la biomasa área (figuras 5a y 6). Asimismo en general, se encontró una correlación inversamente proporcional entre la cantidad de biomasa arbórea y el almacén de carbono; con el menor almacén

Tabla 6. Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos y variables biológicas en la UA-III, ubicada al centro del río San Pedro y San Pablo en la Reserva de la Biosfera Centla, Tabasco.

Variables	Componente 1 (46.4 %)	Componente 2 (26 %)
Nitrito	0.441	0.0933
Nitrato	0.343	-0.194
Fosfato	0.376	0.302
Sulfato	0.393	0.351
Amonio	0.373	0.374
pH	0.329	-0.411
Temperatura	-0.266	0.301
Potencial redox	0.142	-0.195
UPS	-0.223	0.547

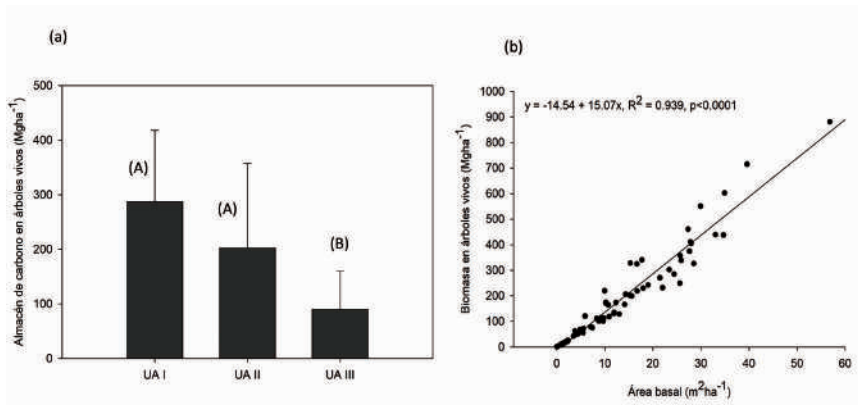


Figura 5. Almacén de carbono en árboles vivos (a) y Análisis de regresión lineal simple entre la biomasa arbórea con el área basal (b), en los bosques de mangle que bordean el río San Pedro y San Pedro, Tabasco.

*Las UA's que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

en la UA-I y mayor en la UA-III (figuras 5a y 6). De manera particular, al analizar el secuestro de carbono por intervalos de profundidad y perfiles de mangle (figura 6), es notable el menor secuestro a 30-50 cm de profundidad los bosques de la UA-III y un aumento a 0-15 cm en los internos de la UA-II.

Grado de conservación

Los resultados obtenidos del modelo estocástico definieron que el 66.6 % del ecosistema de manglar en estudio se encuentra medianamente impactado (UA-I y II) y el 33.4 % impactado (UA-III) (tabla 8). A su vez las diferencias en las condiciones ambientales observadas entre las UA, ratifica el comportamiento inverso del almacén de carbono y la biomasa arbórea que guardan, con respecto al grado conservación de los bosques de mangle que bordean el cauce el río San Pedro y San Pablo.

Tabla 7. Características fisicoquímicas del suelo por unidad ambiental, a partir de bosques de mangle que bordean el cauce del río San Pedro y San Pablo en la Reserva de Pantanos de Centla, Tabasco.

Unidad Ambiental	Carbono orgánico	Densidad aparente	Nitrógeno total
I	5.43±2.63	0.46±0.14	0.304±0.099
II	8.17±3.21	0.33±0.1	0.445±0.178
III	3.82±2.45	0.60±0.17	0.285±0.151

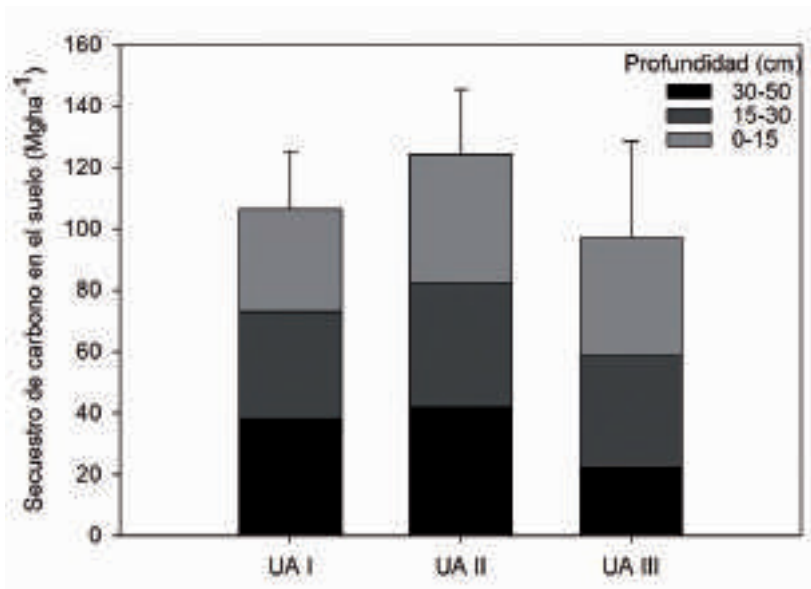


Figura 6. Almacenamiento de carbono en el suelo de los bosques de mangle que bordean el río San Pedro y San Pedro, Tabasco. *Las UA's que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Tabla 8. Evaluación del grado de conservación de los bosques de mangle que bordean el cauce del río San Pedro y San Pablo, a través de tres unidades ambientales; UA-I, Zona Sur; UA-II, Zona centro; UA-III, Zona Norte. Clasificación: conservado I; con bajo impacto II; mediano impacto III; impactado IV; R.m (*Rhizophora mangle*); L.r (*Laguncularia racemosa*); A.g (*Avicennia germinans*).

Unidad Ambiental	Especie dominante	Parámetros del agua intersticial y Reservas de Carbono						Amenazas Antropogénicas					Tipo fisonómico	Promedio general	Grado de conservación
		Nitratos	Fosfatos	Salinidad	Potencial Redox	Secuestro de carbono	Biomasa arbórea	Agricultura	Ganadería	Construcción de carreteras	Uso de madera	Asentamientos urbanos			
UA-I	R.m	1.8	2.0	1.6	2.3	1.9	2.5	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.5	III
UA-II	L.r	2.8	2.1	2.1	2.0	1.9	2.4	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	3.0	1.5	III
UA-III	L.r	2.5	1.7	2.0	1.8	1.8	1.9	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	3.0	1.3	IV

Discusión

Las reservas de C_{org} de la biomasa arbórea a lo largo del cauce del río de San Pedro y San Pablo en la Reserva la Biosfera Los Pantanos de Centla, Tabasco, presentaron gran variabilidad, resultado de las diferencias en la composición de especies y el grado de desarrollo que presenta cada bosque de mangle. Lo antes mencionado, es validado con la relación entre el almacén de Corg en biomasa arbórea y el área basal obtenida en este estudio, puesto que el área basal es reflejo del grado de desarrollo forestal, como respuesta a la condición ambiental a la que se encuentra expuesta una comunidad de manglar. Lo anterior se debe a que, derivado de las diferencias en las tasas fotosintéticas y adaptación al gradiente ambiental entre especies, los bosques de mangle expresan diferencias fisonómicas (Lovelock *et al.*, 2006 y Ruíz Fernandez *et al.*, 2017; Chan Keb *et al.*, 2018); y ésta es la razón

por la cual el 60 % de los bosques de mangle en el área de estudio presentó fisonomía de tipo ribereño, 20 % cuenca y 20 % de borde, como respuesta a los cambios ambientales derivado del desarrollo de las actividades antropogénicas sobre el manglar y áreas adyacentes. Autores como Agraz Hernández *et al.* (2011), Moreno-Casasola *et al.* (2002) y Ruiz Fernández *et al.* (2018) indican que los atributos forestales en los bosques de mangle a través del tiempo se ven afectados con los cambios de uso de suelo, por asentamientos humanos, actividad agrícola y ganadera. Por esta razón, los bosques que conforman a la UA-III registraron los valores más bajos de área basal a lo largo del río San Pedro y San Pablo; incluso se encontró una disminución de especies de mangle hacia el interior del bosque, desplazadas por vegetación terrestres y pastos inducidos para la ganadería. Adicionalmente,

en el área en estudio se evidenció la formación de bosques “secundarios”, al observarse la dominancia de especies más resistentes (*A. germinans* y *L. racemosa*) que han desplazado a la especie original (*R. mangle*). Por ello, el 33.4 % el humedal presenta un grado de conservación impactado y 66.6 % conservado con mediano impacto. Similares efectos han sido registrados a lo largo del cauce del río Icahao, al norte del estado de Campeche (Conde Medina, 2011) y en el río San Pedro, al norte del estado de Nayarit (Ruiz- Fernández *et al.*, 2018).

El diagnóstico basado en unidades ambientales nos permitió encontrar una clara zonación de las especies de mangle donde *A. germinans* contribuye con la mayor expresión de área basal y biomasa en la UA-I. Por consiguiente, la variación explicativa de los datos exhiben a la salinidad, concentración de sulfatos y nitritos como componentes principales que deben considerarse para el manejo y conservación de la UA-I, ya que al estar cerca de la costa, la influencia marina regula las condiciones fisicoquímicas del agua intersticial y el establecimiento de la especie dominante. Ante tal escenario, cualquier actividad antropogénica que genere cambios en la salinidad, superior al límite de tolerancia de *A. germinans*, puede provocar la pérdida de la capacidad de captura de carbono en términos de biomasa arbórea en la UA-I.

Además, el establecimiento de *L. racemosa* desde la UA-I hasta la UA-II, estuvo asociado a las condiciones tróficas del agua intersticial, puesto que los nutrientes se establecieron como componentes principales en ambas unidades. Agraz Hernández *et al.* (2018) indican que *L. racemosa* es una especie oportunista en condiciones con alta concentración de nutrientes, debido a su capacidad fitoremediadora. Adicional-

mente, *L. racemosa* se registró en la UA-II donde se encontraron valores más negativos del potencial oxido reducción (-231.20 ± 74.50 mV), y su presencia en las UA-I, II y III pone en evidencia la amplia capacidad de invadir hábitat con diferentes condiciones ambientales.

La UA-III se caracterizó por presentar baja producción de biomasa arbórea y valores altos en la densidad aparente del suelo (UA-I; 0.46 ± 0.15 , UA-II; 0.34 ± 0.09 y UA-III; 0.6 ± 0.17 g. cm⁻³); estas condiciones son reflejo de cambios en el patrón hidrológico, y aporte de materia orgánica de origen antropogénico. Esto validado con las concentraciones de amonio detectadas en esta UA, la cual es superior a las UA-I y II. En específico, la UA-I pierde la dominancia típica de *R. mangle* en los bosques ubicados en el borde del cauce del río, estableciéndose un bosque joven con baja producción de biomasa, lo cual se debe posiblemente al desplazamiento de la vegetación original (*R. mangle*) por especies más resistentes a las condiciones ambientales actuales, como es el caso de la dominancia de *L. racemosa* y vegetación terrestre. Este comportamiento ha sido registrada en el río Icahao, Champotón en el estado de Campeche (Conde-Medina, 2011).

A pesar de lo descrito, los valores de biomasa arbórea exhibidos en este estudio son superiores a lo cuantificado en manglares secundarios al norte de Nayarit (México); en bosque con similar grado de conservación (Alonso Campos, 2018) (tabla 9). Esto se debe a la mayor precipitación en los Pantanos de Centla que mantiene condiciones de menor salinidad y de mayor oxigenación en el agua intersticial, y a las diferentes presiones e impactos antropogénicos (cambios en los patrones de sedimentación y flujo hidrológico por acuicultura y termoeléctricas

Tabla 9. Biomasa arbórea (Mg. ha⁻¹) y almacén de carbono (Mg C ha⁻¹) en bosques de mangle con diferente grado de conservación en el mundo.

Sitio	Biomasa (Mg ha ⁻¹)			Almacén de carbono (Mg C ha ⁻¹)			Referencia
	BA	BS	BT	CA	CS	CT	
Bosques conservados							
Tailandia.	298.5	272.9	571.4	149.25	106.43	255.68	Komiyama <i>et al.</i> (1987).
México.	421.1	152.3	573.4	210.55	59.40	269.95	Adame <i>et al.</i> (2015).
Australia.	112.3	160.3	272.6	56.15	62.52	118.67	Briggs (1977).
Australia.	341	121	462	170.5	47.19	217.69	Mackey (1993).
Panamá	279.2	306.2	585.4	139.6	119.42	259.02	Golley <i>et al.</i> (1975).
México.	264	95	359	127	37	164	Kauffman <i>et al.</i> (2016).
Bosques impactados							
Tailandia.	92.2	87.5	179.7	46.1	34.13	80.23	Komiyama <i>et al.</i> (2000).
Tailandia.	62.2	28	90.2	31.1	35.18	66.28	Poungparn (2003).
Mozambique.	58.4	65	123.4	28.02	25.2	53.22	Sitoe <i>et al.</i> (2014).
México.	117	88	205	56	34	90	Kauffman <i>et al.</i> (2016).
Nayarit, México.	47.8	48.89	96.70	23.90	19.07	42.97	Agraz-Hernández <i>et al.</i> (2019).
Este estudio							
Tabasco, México.	346	229	575.6	173	107.6	281.3	Chan Keb <i>et al.</i>

en Nayarit). Razon por la cual, las especies de mangles presenta mejor desarrollo en los atributos forestales, en comparación a los manglares de Nayarit. Diversos autores mencionan que los tipos fisonómicos y productividad de los bosques de mangle están influenciados por diversos factores ambientales; como los aportes de nutrientes, nivel topográfico, frecuencia y amplitud de inundación, tiempo de residencia del agua, variación de la concentración de salinidad, condiciones del potencial redox del agua intersticial, concentración de la materia orgánica y acumulación en los sedimentos (Flores Verdugo *et al.*, 2007; Moreno-Casasola *et al.*, 2002).

Carbono orgánico almacenado en el suelo y su relación con las condiciones ambientales en bosques de mangle, con diferente grado de conservación

En general, el almacenamiento de carbono a través de los intervalos de profundidad de los núcleos de suelo muestra mayor almacén de carbono a una profundidad entre 30-50 cm. Lo anterior implica un mayor almacenamiento de carbono en las capas inferiores del suelo, debido a la baja disponibilidad de nutrientes limitantes (*i. e.* nitrógeno y fosforo) y oxígeno disuelto para el desarrollo microbiano (Alongi, 2012), así como a la presencia de materia orgánica con com-

posición química en la que predominan compuestos que, por sus estructura física y química, es más resistente ante la degradación. En un estudio reciente, Kauffman *et al.* (2017) mencionan que los manglares de los Pantanos de Centla almacenan la mayor cantidad de carbono orgánico a una profundidad >100 cm, con más de 1 000 Mg C ha⁻¹. Sin embargo, para este estudio los resultados obtenidos de 30-50 cm de profundidad fueron inferiores a lo reportado en esta misma área por Kauffman *et al.* (2015). Por consiguiente, es posible que los manglares de Tabasco se encuentran expuestos a cambios interanuales en la productividad primaria que no compensan las pérdidas naturales de carbono. Asimismo, las modificaciones en la hidrología y descarga de nutrientes, es posible que estén afectando el balance y la permanencia del carbono en el suelo, como lo indicó la relación inversamente proporcional obtenida en este estudio entre el porcentaje de carbono orgánico y el potencial redox del agua intersticial, pues es sabido que las condiciones de oxido-reducción en humedales están regidas por los periodos de inundación y los compuestos químicos presentes (Mistch y Gosseling, 2000).

En general los manglares en el área en estudio registraron almacenamiento de carbono superior a lo reportado por Valdés-Velarde *et al.* (2011) en Nayarit (89.7 t C ha⁻¹), Khan *et al.* (2007) en manglares templados de Japón (57 t C ha⁻¹), Fujimo-

to *et al.* (1999) en Micronesia (97 t C ha⁻¹) y Woomer *et al.* (2004) en Senegal (91 t C ha⁻¹), debido a la fisonomía ribereña que caracterizó a los bosques de mangle a lo largo del cauce del río, en específico las UA-I y II, y por estar distribuidos en un río, debido a los aportes de sedimento que favorecen el almacenamiento y preservación de carbono en el suelo. Al respecto, diversos autores indican que los manglares del río San Pedro y San Pablo mantienen elevada productividad y mayor aporte de carbono en los bosques con fisonomía ribereña que bordea los cauces de los ríos (Woodroffe, 1992; Twilley y Rivera, 2005; Crase *et al.*, 2013; Monroy Torres *et al.*, 2014).

En específico, a lo largo del cauce del río San Pedro y San Pablo, se registró un comportamiento heterogéneo en el almacenamiento de carbono; donde el mayor secuestro se determinó en la UA-II y menor en la UA-III, por la cual, se ratifica la relación inversa que guarda entre el grado conservación y el almacenamiento de carbono.

La UA-II, caracterizada por menor influencia marina, condiciones homogéneas a lo largo del perfil de vegetación, mayor disponibilidad de oxígeno disuelto y salinidades oligohalinas en el agua intersticial (sin diferencias significativas ($p>0.05$)), y por tanto, la que reflejó el menor estrés ambiental, presentó mayor almacenamiento de carbono comparado con las UA-I y III, caracterizados por una menor disponibilidad de oxígeno disuelto.

Conclusiones

El establecimiento de unidades ambientales en los bosques de mangle que bordean el cauce del río San Pedro y San Pablo en la Reserva de la Biosfera de Centla y la valoración de sus almacenes de carbono facilitará la comprensión de la estructura, función y servicios ambientales de mangle, a los usuarios. Asimismo, el establecimiento del grado de conservación e identificación de los factores determinante por UA de mangle, podrán ser utilizados como herramientas que apoyen al establecimiento de políticas de manejo, y por ende para preservar y recuperar los servicios ambientales que proveen los manglares. Por otra parte, la información generada en este estudio será un insumo importante para fortalecer las estrategias de mitigación y adaptación del cambio climático (tabla 10).

- Los componentes principales obtenidos para la UA-I validan que los almacenes de carbono están influidos por la salinidad y dominancia de *R. mangle* y *A. germinans*.
- Los componentes principales obtenidos para la UA-II, indican que el nivel de disponibilidad de nutrientes favorece la permanencia del carbono.
- La colonización de *L. racemosa* se debe al cambio en las condiciones ambien-

les del agua y del suelo, reflejo del bajo grado de conservación obtenido en la UA-III. Una de las estrategias para asegurar el funcionamiento ecológico y captura de carbono en esta UA, es considerar esta especie para reforestar en un futuro.

- A pesar de que un 33.4 % del humedal en estudio presenta un grado de conservación impactado y 66.6 % con mediano impacto, almacenan más carbono que otros bosques de mangle en México con similar grado de conservación, almacenando hasta $1\ 188.57 \pm 649.48$ Mg CO₂eq ha⁻¹. Por ello, la aplicación de políticas de manejo como la conservación y restauración tiene el potencial de contribuir a la adaptación y mitigación del cambio climático al mantener y recuperar las reservas de carbono con incentivos de programas de créditos de carbono, que promuevan participación y beneficio a las comunidades locales.
- La reserva de la biomasa fue definida por el área basal, derivado de la composición y dominancia de especies de mangle en cada UA, que presentan diferencias entre ellas que a su vez contribuyeron a la variación en los atributos forestales, resultado de la variación en

Tabla 10. Asignación de políticas ambientales para la gestión del ecosistema de mangle del río San Pedro y San Pablo en la Reserva de la Biosfera de Centla, Tabasco.

Unidad Ambiental	Zonación de manejo. Programa de Manejo de la RBPC	Grado de conservación actual	Propuesta de política ambiental
I	Zona de amortiguamiento.	Mediano impacto.	Conservación y vigilancia.
II	Zona Núcleo II.	Mediano impacto.	Restauración.
III	Zona de amortiguamiento.	Impactado.	Restauración.

las tasas de crecimiento de acuerdo con la estructura de la madera (densidad de madera) y área basal; en respuesta al gradiente ambiental entre especies, así como por alteraciones antropogénicas.

- En condiciones óxico-hipóxicas con tendencias a hipóxicas se registra mayor secuestro de carbono orgánico. Condiciones debidas al comportamiento hidrológico, donde los sitios presentan periodos altos de inundación de acuerdo con la literatura citada. Por ello la rehabilitación hidrológica y reforestación tienen un potencial alto para aumentar el secuestro de carbono en sitios impactados y con bajo almacenamiento de carbono en el suelo. Sin embargo, es importante considerar que los sitios calificados como potenciales a restauración dentro de UA-III son terrenos particulares destinados a la ganadería con

un suelo compacto, o áreas cuya deforestación ha sido causada por el establecimiento de asentamientos humanos, lo que dificulta el establecimiento de un programa de restauración a largo plazo, factor que impide la restauración. Por lo anterior, se propone establecer sistemas de tratamiento, mediante la construcción de humedales artificiales con manglares, forestados con *Laguncularia racemosa*, con base a los criterios de Agraz Hernández *et al.* (2018), ya que ésta es la especie de mangle que tiene dominancia en el área en estudio, pero además presenta mayor eficiencia en la remoción de los nutrientes, por lo cual representa una alternativa de mejora en la calidad del agua, mantenimiento de la biomasa y algunos de los servicios ecosistémicos que provee el manglar.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Con base a los resultados de esta investigación, se establece la necesidad de conciliar estrategias de conservación, en aquellos sitios donde se llevan a cabo actividades agrícolas y ganaderas en terrenos asociados al manglar o adyacentes. En este sentido, la capacidad de identificar diferentes unidades ambientales en esta investigación permite emitir recomendaciones que respondan a la importancia del manglar y definir zonas donde el uso es posible, basado en buenas prácticas o un diseño de paisaje, con otras que deben ser protegidas de cualquier uso por razones de fragilidad del sistema o porque los suelos no son adecuados para un uso productivo, pero sí para servicios ecosistémicos. Asimismo, permite

contar con herramientas para monitorear el impacto antrópico sobre las unidades de manglar.

Por otra parte, para el manejo del sistema de manglar en el área en estudio, se propone alcanzar acuerdos con los usuarios y propietarios, con base en salvaguardas ambientales y sociales (Free, Prior, Informed Consent, FPIC). Adicionalmente, se propone el diseño de infraestructura verde para el uso del paisaje, basado en bordos paralelos al flujo, y el uso intensivo en áreas seleccionadas de plantaciones alternativas al manglar, compatibles con la protección del sistema. Además, se debería establecer la continua difusión de la información a los dueños de la tierra sobre la condición del

entorno y el valor en términos de captura y almacenamiento de carbono atmosférico, ya que, según la legislación de México, del 2019 al 2021, este servicio ecosistémico se mantendrá en el mercado de carbono en transición para compensar emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfe-

ra, convirtiéndose en obligatorio a partir de 2022. Por lo anterior, resulta prioritaria la conservación y restauración de los manglares del área en estudio, debido a que el manejo de ciertas áreas tendrá importancia para emitir bonos de carbono cotizables en la bolsa mexicana de valores.

Agradecimientos

Al Proyecto FORDECYT 273646-Cambio Global y Sustentabilidad en la Cuenca del usumacinta y Zona Marina de Influencia:

Bases para la Adaptación al Cambio Climático desde la Ciencia y la Gestión del Territorio.

Literatura citada

- Adame, M. F., N. S. Santini, C. Tovilla, A. Vázquez-Lule, and L. Castro. 2015. Carbon stocks and soil sequestration rates of riverine mangroves and freshwater wetlands. *Biogeosci. Discuss*, 12: 1015-1045.
- Adame M.F., J.B. Kauffman, I. Medina, J-N. Gamboa O. Torres, J.P. Caamal *et al.*, 2013. Carbon Stocks of Tropical Coastal Wetlands within the Karstic Landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*, 8(2): 65-69.
- Adame, M., F., Cherian, S., Reef, R., y B. Stewart-Koster, 2018 . Mangroves root biomass and the uncertainty of belowground carbon estimations. *Forest Ecology Management*, 403: 52-60.
- Agraz-Hernández, C. M., J. Osti-Sáenz, C. Jiménez-Zacarías, C:C.E. García Zaragoza, L. González Durán, y A. Palomo Rodríguez, 2007. Restauración con manglar: criterios y técnicas hidrológicas de reforestación y forestación. Universidad Autónoma de Campeche, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional Forestal.
- Agraz-Hernández, C. M., C. García-Zaragoza, S. Iriarte-Vivar, F. J. Flores Verdugo, y P. Moreno Casasola. 2011. Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha lagoon in the Atlantic coast of Mexico. *Wetlands Ecol. Manage.*, 19: 273-293.
- Agraz-Hernández, C., R. del Río-Rodríguez, C. Chan-Keb, J. Osti-Saenz, y R. Muñoz-Salazar, 2018. Nutrient Removal Efficiency of Rhizophora mangle (L.) Seedlings Exposed to Experimental Dumping of Municipal Waters. *Diversity*, 10(1): 16.
- Agraz Hernández C.M., Chan Keb C.A. Chavez Barrera J., Osti Saenz J., Expósito Díaz, G., Alonso Campos V.A., Muñoz- Salazar R., Ruiz Fernández A.C., Pérez-Bernal L. H., Sanchez Cabeza J.A., Rivera Arriaga, E. (en prensa). Reserva de carbón en un ecosistema de manglar al norte de México: cambios ambientales durante 35 años. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- Alongi, D. M., 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3: 313-322
- Alonso Campos, V., 2018. Carbono orgánico almacenado en los manglares del río San Pedro Mezquital en Marismas Nacionales, Nayarit. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Campeche. 139 p.
- Briggs S., 1977. Estimates of biomass in a temperate mangrove community. *Australian Journal of Ecology*, 2: 1403-1407.

- Cáliz, E. M., A.G. Peña, M.D.C.G. Castorena, C.A.O. Solorio, y D.J.P. López, 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y bosques*, 8: 115-128.
- CCA, 2017. Análisis de las oportunidades para la integración del concepto de carbono azul en la política pública mexicana, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 102 p.
- Chan-Keb, C. A. 2014. Grado de conservación y vulnerabilidad de los ecosistemas de manglar que bordean el sistema lagunar de Chacahua, Pastoría, Salina y Minuya, Oaxaca. Tesis de doctorado. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 156 p.
- Chan-Keb, C., C. Agraz-Hernández, R. Muñoz-Salazar, G. Posada-Vanegas, J. Osti-Sáenz, J. Reyes Castellano, y B. Vega-Serratos, 2018. Ecophysiological Response of *Rhizophora mangle* to the Variation in Hydrochemistry during Five Years along the Coast of Campeche, México. *Diversity*, 10(1): 9.
- Chave, J. 2002. Medición de densidad de madera en árboles tropicales. Manual de campo. PAN-AMAZONIA. 7 p. Link: [http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish\[1\].pdf](http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish[1].pdf).
- Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M.S. Colgan, W.B. Delitti, ... y M. Henry, 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biol.*, 20(10): 3177-3190.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, A. Cairns, J.Q. Chambers, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera, y T. Yamakura, 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecologia*. 145: 87-9.
- Conde Median, K.P., 2011. Conservación y vulnerabilidad actual y a futuro de los bosques de mangle que bordean a río Icajao, Champotón, Campeche. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Campeche. 80 p.
- Cruse, B., A. Liedloff, P.A. Vesk, M.A. Burgman, y B.A. Wintle, 2013. Hydroperiod is the main driver of the spatial pattern of dominance in mangrove communities. *Global Ecology and Biogeography*, 22(7): 806-817.
- Donato, D. C., B. Kauffman, D. Murdiyarto, S. Kurnianto, M. Stidham, y M. Kanninen, 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4: 293-297.
- Flores-Verdugo, F.J., F. González-Farías, D.S. Zamorano, y P.G. Ramírez. 1992. Mangrove ecosystem of the Pacific Coast of Mexico: distribution structure litterfall, and detritus dynamics. Coastal Plant Communities of Latin America, Academic Press, Inc.: 269-288 p.
- Flores- Verdugo, F.J., P. Moreno-Casasola, C. M. Agraz Hernández, H. López-Rosas, D. Benítez-Pardo y A. C. Travieso- Bello, 2007. La topografía y el Hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los Humedales costeros. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, 80: 33-47.
- Fujimoto, K., A. Imaya, R. Tabuchi, S. Kuramoto, H. Utsugi, y T. Murofushi. 1999. Belowground carbon storage of Micronesian mangrove forests. *Ecological Research*. 14: 409-413.
- Giri C., E. Ochieng, L.L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, y T. Loveland *et al.*, 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20: 154-159.
- Golley, F.B., Mcginnis, J.T., Clements, R.G., Child, G.L., Duever, M.J., 1975. Mineral Cycling in a Tropical Moist Forest Ecosystem. Georgia Univ. Press, Athens
- Guerra-Martínez, V., y S. Ochoa Gaona, 2006. Evaluación espaciotemporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco. (1990-2000). *Investigaciones Geográficas*, (59):7-25.
- INEGI, 2000. Metadatos del Inventario Nacional Forestal, serie 2. 150 p.
- Kairo, J. G., J.K. Lang'at, F. Dahdouh-Guebas, J. Bosire, y M. Karachi, 2008. Structural development and productivity of replanted mangrove plantations in Kenya. *Forest Ecology and Management*, 255 (7): 2670-2677.
- Kauffman J.B, D.C. Donato, y M.F. Adame, 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR. 48 p.
- Kauffman, J. B., H. Hernández Trejo, M.C. García, C. Heider, y M.G. Contreras, 2016. Carbon stock of mangroves and los arisnig from their conversion to cattle pasture in the Pantanos de Centla, Mexico. *Wetlands Ecology and Management*. 23: 203-216

- Kauffman, J.B., y R.K. Bhowmik, 2017. Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa: Global and regional comparisons. *PLoS ONE*, 12(11): e0187749.
- Khan, M., S. Suwa, y A. Hagihara, 2007. Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandelia obovata* (S. L.) Yong: distribution in the soil and vegetation system. *Wetlands Ecology and Management*, 15(2): 141-153.
- Komiyama, A., S. Pongparn, y S. Kato, 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21: 471-477.
- Lenore, S., A. Greenberg, y R. Trussell, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17 th ed. United States of American. American Public Health Association. 10-203.
- Lovelock C. E., M. C. Ball, B. Choat, B. M. J. Engelbrecht, N. M. Holbrook, e I. C. Feller, 2006. Linking physiological processes with mangrove forest structure: phosphorus deficiency limits canopy development, hydraulic conductivity and photosynthetic carbon gain in dwarf *Rhizophora* mangle. *Plant. Cell. and Environment.*, 29: 793-802.
- Mackey, AP, 1993. Biomass of the mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Near Brisbane, South-eastern Queensland. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 44(5): 721 - 725
- Mitsch, W. J., y J. G. Gosselink, 2000. Wetlands. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.
- Monroy -Torres, M., F. Flores-Verdugo, y F. Flores-de-Santiago, 2014. Crecimiento de tres especies de mangle subtropical en respuesta a la variabilidad en el hidropereodo en un tanque experimental. *Ciencias Marinas*, 40: 263-275
- Moreno, P., J.L. Rojas, D. Zárate, M.A. Ortiz, A. L. Lara, y T. Saavedra, 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*, 8(1): 61-88.
- Moreno-Cassasola, P., y H. López, 2009. Muestreo y análisis de la vegetación de humedales. En: Moreno-Cassasola, P. y B. Warner. 2009. Breviario para describir, observar y medir humedales. Serie costa sustentable no. 1. RAMSAR, Instituto de Ecología, A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department, Xalapa, Ver. México. 406 p.
- Piedra L., y L. Sierra, 2014. Metodología para la cuantificación de carbono en bosques de manglares. p. 231-248. En: Hernández-Zanuy A. C. y P. M. Alcolado (eds). Métodos para el estudio de la biodiversidad en ecosistemas marinos tropicales de Iberoamérica para la adaptación al cambio climático. Red CYTED 410RT0396. E. Book. Instituto de Oceanología, La Habana. 272.
- Pongparn, S., 2003. Common allometric relationships for estimating the biomass of mangrove forests. Ph.D. dissertation, Gifu University, 87 p.
- Rodríguez-Zúñiga, M.T., C. Troche-Souza, A.D. Vázquez-Lule, J.D. Márquez-Mendoza, B. Vázquez-Balderas, L. Valderrama-Landeros, S. Velázquez-Salazar, M.I. Cruz-López, R. Ressler, A. Uribe-Martínez, S. Cerdeira-Estrada, J. Acosta-Velázquez, J. Díaz-Gallegos, R. Jiménez-Rosenberg, L. FueyoMac Donald, y C. Galindo-Leal, 2013. Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 p.
- Ruiz-Fernández, A. C., C.M. Agraz-Hernández, J.A. Sanchez-Cabeza, M. Díaz-Ascencio, L.H. Pérez-Bernal, C.C. Keb, y J.R. Castellanos, 2018. Sediment geochemistry, accumulation rates and forest structure in a large tropical mangrove ecosystem. *Wetlands*, 38 (2): 307-325.
- Shapiro S.S., y M.B. Wilks, 1965 An Analysis of Variance Test for Normality *Biometrika* Vol. 54: 591-611.
- Sitoe, A.A., L.J.C. Mandlate, y B.S. Guedes, 2014. Biomass and carbon stocks of Sofala bay mangrove forests. *Forests*, 5(8): 1967-1981.
- Sturges, H.A., 1926. The Choice of a Class Interval. *J. Am. Statist. Assoc.*, 21: 65-66.
- Twilley, R. R., y V. H. Rivera-Monroy, 2005. Developing performance measures of mangrove wetlands using simulation models of hydrology, nutrient biogeochemistry, and community dynamics. *J. Coastal Res.*, 40: 79-93.
- Valdés-Valverde, E., J.I. Valdez Hernández, V.M. Ordaz Chaparro, J.F. Gallardo Lancho, J. Pérez Nieto, y C. Ayala Sánchez, 2011. Organic carbon assesment in mangroves soils of Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(8): 47-58.

- Woodroffe, C. D., 1992. Mangrove sediments and geomorphology. 7-39.
- Woomer, P. L., A. Touré, y M. Sall, 2004. Carbon stocks in Senegal's Sahel transition zone. *Journal of arid environments*, 59(3): 499-510.
- Woomer, P. L., L.L.Tieszen, G. Tappan, A. Touré y M. Sall, 2004. Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal. *Journal of Arid Environments*. 59(3): 625-642.
- Zar, Jerrold H., 2010. *Biostatistical Analysis* Tth Edition. Pearson-Hall, Upper Saddle River. NJ. 944 p.

Biomarcadores: una herramienta para medir y predecir los efectos del cambio climático sobre los peces y su aplicación en la toma de decisiones

Ricardo Dzul-Caamal

Resumen

El medio marino cumple importantes funciones sociales, económicas y ecológicas. Los peces son especies abundantes y forman parte de diferentes ictiofaunas de los ecosistemas marinos; sin embargo, este recurso como actividad pesquera ha ido a la baja en los últimos años. Según la FAO, el 70 % de las especies de peces ha sufrido una baja poblacional de hasta cinco veces menos que las obtenidas en 1950. El descenso en la producción de este recurso ha ocasionado diferentes conflictos e inclusive los gobiernos han analizado posibles razones o explicaciones que podrían afectar a

este recurso, como la sobrepesca, migración y la contaminación. Sin embargo, los avances científicos y tecnológicos actuales, aportan información detallada de que los cambios en la temperatura y la acidificación de los océanos producen cambios en una variedad de rasgos en la salud de los peces (metabolismo, fisiología y reproducción) y sus migraciones. De esta necesidad nació la preocupación de la ecotoxicología sobre la ecología de estos recursos marinos ante la respuesta al cambio climático. Los ecotoxicólogos, han estado trabajando y perfeccionando métodos para mejorar la comprensión de los efectos naturales (cambio climático) y de las influencias humanas (antropogénicos). Una de las herramientas para evaluar estos efectos ecotoxicológicos, es el uso de los biomarcadores. Los biomarcadores son considerados una valiosa herramienta en los programas de monitoreo de la calidad del agua o para evaluación de riesgo ecológico. Los peces por ser especies abundantes y forman parte de diferentes ictiofaunas de los ecosistemas marinos, además de bioacumular contaminantes en sus tejidos sin mostrar ningún efecto perjudicial aparente, y responder a diferentes factores naturales son considerados en los estudios de biomarcadores. Por lo tanto, en este capítulo se presenta una visión general, usando la respuesta de biomarcadores en los peces, en énfasis de estrés oxidativo inducidos por los aumentos de la temperatura y la acidificación.

Palabras clave: peces, biomarcadores, estrés oxidativo, biomonitoreo, cambio climático.

Introducción

El total mundial de la producción de la pesca de captura a partir del 2014 fue de 93.4 millones de toneladas, de las cuales 81.5 millones de toneladas procedían de aguas marinas y 11.9 millones de toneladas de aguas continentales, siendo China el productor principal, seguida de Indonesia, Estados Unidos de América y Rusia (FAO, 2016).

Los factores que favorecían la pesca en estas regiones, eran principalmente los recursos biofísicos (temperatura y demanda de oxígeno) y las condiciones agroclimáticas favorables que presentaban (Araoye, 2009). Sin embargo, aunque la producción pesquera en estos países presenta enormes beneficios, se estima que el 31.4 % de esta actividad presentó un nivel de explotación

no sostenible y se vio afectada también por los impactos antropogénicos y el cambio climático, ocasionando una baja en este recurso en la actualidad (Brander, 2007; FAO, 2016).

Respecto, a los efectos ocasionados por el cambio climático, se ha documentado incrementos de la temperatura de la superficie del mar de 0.8 °C, acompañados con una disminución de 0.1 en el pH, lo que corresponde a un aumento del 26 % en la acidez del agua, y si estas tendencias continúan, se espera fluctuaciones de temperatura entre 3 y 4 °C, y una acidificación adicional (Δ pH -0.3 a -0.5) para el 2100 (IPCC, 2014). Por consiguiente, la distribución y abundancia de muchos componentes de la biota marina como los peces, se

vería afectada por la pérdida del hábitat crítico para su alimentación, crecimiento, migración, reproducción (Flynn *et al.*, 2015; Perry *et al.*, 2015).

Según los pronósticos las repercusiones del cambio climático en los peces tendrían distintas formas y ocurrirán en diversos escenarios con variada intensidad. Sin embargo, sus efectos ya son observados a corto plazo en muchas regiones de todo el mundo, siendo los peces carnívoros (niveles tróficos elevados), los que presentan los mayores efectos de tipo metabólico y reproductivo debido al aumento de la temperatura y la acidificación (Nagelkerken y Connell, 2015).

A pesar de estos efectos, los peces han respondido al cambio climático y a la pérdida de la calidad de su hábitat (Bresolin de Souza *et al.*, 2014). Los mecanismos fisiológicos de respuesta a la tolerancia y aclimatación de estos organismos, pueden no ser específicos para cada estresor y en general, pueden estar relacionados con cambios en el crecimiento, expresión génica, metabolismo (biotransformación y detoxificación) y tácticas reproductivas (adaptación). Por ejemplo, los peces ajustan las tasas metabólicas, modulan las vías celulares, la respuesta antioxidante, el sistema inmunitario, la regulación transcripcional y la transducción de señales en respuesta a la temperatura elevada del agua o la acidificación para promover la supervivencia (Bresolin de Souza *et al.*, 2014; Madeira *et al.*, 2016a). Sin embargo, a pesar de estos mecanismos de defensa, se ha documentado que el cambio climático puede sobrepasar los límites fisiológicos de los peces, induciendo mortalidad y cambios en el rango de distribución de estas especies (Wernberg *et al.*, 2013).

Es probable que la reducción de los impactos del cambio climático en los peces requiera una combinación de estrategias de monitoreo, investigación básica y políticas de gestión por tomadores de decisiones a nivel local, regional e internacional (Brander, 2007). Abordar estas estrategias de mitigación ayudaría a aumentar la resiliencia ante el cambio climático en las pesquerías y sobre todo en la conservación de especies de importancia económica y ecológica (Espinoza-Tenorio *et al.*, 2011).

Actualmente, la ecotoxicología ha desarrollado un nuevo enfoque metodológico basado en la medición de las respuestas bioquímicas, celulares, fisiológicas o comportamiento que pueden ser medidas en un organismo o a nivel de población o comunidad (Dzul-Caamal *et al.*, 2018). Cada una de estas respuestas o “biomarcadores”, representa una señal integrada del nivel de contaminación y constituye un indicador del nivel de riesgo ecotoxicológico al que puede ser sometida una determinada población natural a largo plazo en función de la exposición, que sobrepasa los niveles normales de homeostasis o compensación en el organismo (van der Oost *et al.*, 2003).

A su vez, se han realizado nuevos esfuerzos para considerar a los biomarcadores en los estudios de exposición a temperaturas elevadas y acidificaciones, ya que muchas de estas respuestas son consideradas de amplio espectro como es el caso del estrés oxidativo. Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es examinar los efectos ecológicos del cambio climático, así como integrar los efectos individuales y combinados del calentamiento y la acidificación del océano en la fisiología de los peces, dando énfasis en los daños inducidos a nivel de estrés oxidativo. Finalmente, presentamos in-

formación sobre el uso de biomarcadores como una herramienta de monitoreo de bajo costo ante el cambio climático, la cual

será de mucha utilidad para los tomadores de decisiones para gestionar o mitigar estos efectos.

Efectos globales de la temperatura y la acidificación de los ecosistemas marinos en el crecimiento, reproducción y supervivencia de los peces

Los océanos cubren el 71 % de la superficie de la tierra, son responsables de la mayor parte del oxígeno que respiramos y son los principales ecosistemas reguladores del efecto invernadero en la atmósfera y del aumento de las temperaturas globales (Molinos *et al.*, 2016). Además, son una fuente de trabajo, energía, recursos minerales e hidrocarburos y habitat de miles de especies que son críticas para el bienestar social y económico de las diferentes regiones del mundo (Palmer, 2017).

Los océanos, a pesar de que actúan regulando el calor en el mundo, ha sufrido un cambio acelerado en las temperaturas y los niveles de pH en las últimas décadas, lo que ha contribuido al aumento del nivel del mar e impactado a los organismos marinos (peces, corales y plancton), los ecosistemas, los ciclos biogeoquímicos y a la vez, han desencadenado cambios repentinos en el clima a nivel mundial (Reid *et al.*, 2009).

A nivel de organismo, estos cambios en el ecosistema que habitan tendrán efectos severos en su supervivencia, crecimiento, alimentación y producción (figura 1) (Nesar y James, 2016). Por lo tanto, la pesca de mariscos y los sistemas de arrecifes de coral, así como las pesquerías que dependen de ellos, se verán afectados (Islam *et al.*, 2014).

Temperatura

La temperatura es una de las variables físicoquímicas más importantes que determinan el funcionamiento general (salud, abundancia y persistencia) de las comunidades acuáticas (Jeppesen *et al.*, 2010). Sin embargo, la temperatura media global de la superficie ha aumentado ≈ 0.76 °C en los últimos años y se prevé que aumente entre 1 °C y 4 °C adicional para fines de este siglo (Gooding *et al.*, 2009).

En los organismos, los procesos fisiológicos ocurren dentro de un rango de temperatura limitado, que puede diferir dependiendo de los mecanismos moleculares y celulares (Miranda *et al.*, 2013). Los peces, al igual que otros organismos ectotermos, tienen una temperatura corporal de acuerdo a su entorno, por lo que cualquier cambio en esta variable los afectará directamente a través de los procesos metabólicos y reproductivos, haciéndolos más susceptibles a las toxinas, parásitos, patógenos ambientales, depredadores y competidores (Miranda *et al.*, 2013).

Los estudios en condiciones controladas revelan que un aumento de la temperatura del agua por encima de la óptima (22-30 °C) tiene un impacto adverso en la reproducción de los peces y poner en peligro su

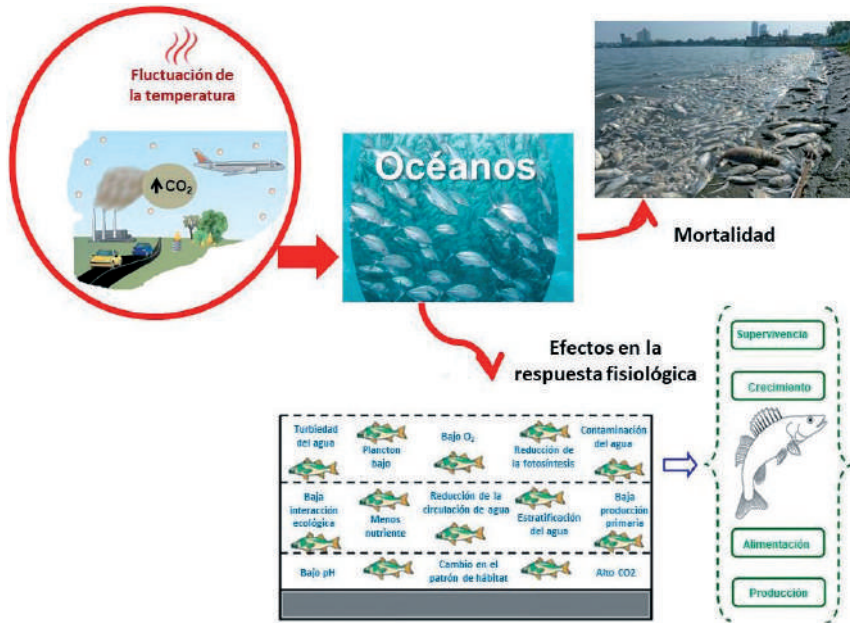


Figura 1. Impactos de los aumentos de la temperatura y niveles de CO₂ en los ecosistemas marinos con sus efectos potenciales en la supervivencia, el crecimiento, la alimentación y la producción de peces. Modificado de Nesar y James, 2016.

sostenibilidad (Ficke *et al.*, 2007; Strüßmann *et al.*, 2010). Se ha demostrado que muchos Atheriniformes tienen determinación de sexo dependiente de la temperatura. Por ejemplo, el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) puede presentar intersex si la temperatura del agua durante la temporada de reproducción es demasiado baja o demasiado alta. Esta especie también muestra alteración gonadal, pérdida de células germinales que conduce a una esterilidad por los cambios de la temperatura (Strüßmann *et al.*, 2010).

Otro estudio realizado por Miranda *et al.* (2013) reveló una regresión gonadal, deterioro del desove y la inhibición de la expresión de genes específicos en diferentes niveles de las vías eje cerebro-pituitaria-gónada en los peces, inducidos por la alta temperatura del agua (figura 2).

La temperatura en los ecosistemas acuáticos también es una variable clave en la distribución geográfica de diferentes especies de peces (Jeppesen *et al.*, 2010), y cualquier cambio temporal en sus patrones normales podría generar consecuencias graves como cambios en abundancia, distribución espacial e incluso extinción (Ficke *et al.*, 2007). Por ejemplo, un estudio realizado en una región templada de Canadá proporciona datos sobre los impactos del calentamiento en los peces de agua dulce. En este estudio, la elevada temperatura del agua superficial se relacionó con una reducción en la disponibilidad de hábitat, distribuciones fragmentadas de especies de peces, aumento del flujo de la corriente, menos cobertura de hielo durante el invierno y veranos más secos con mayores tasas de evaporación (Olusanya *et al.*, 2018).

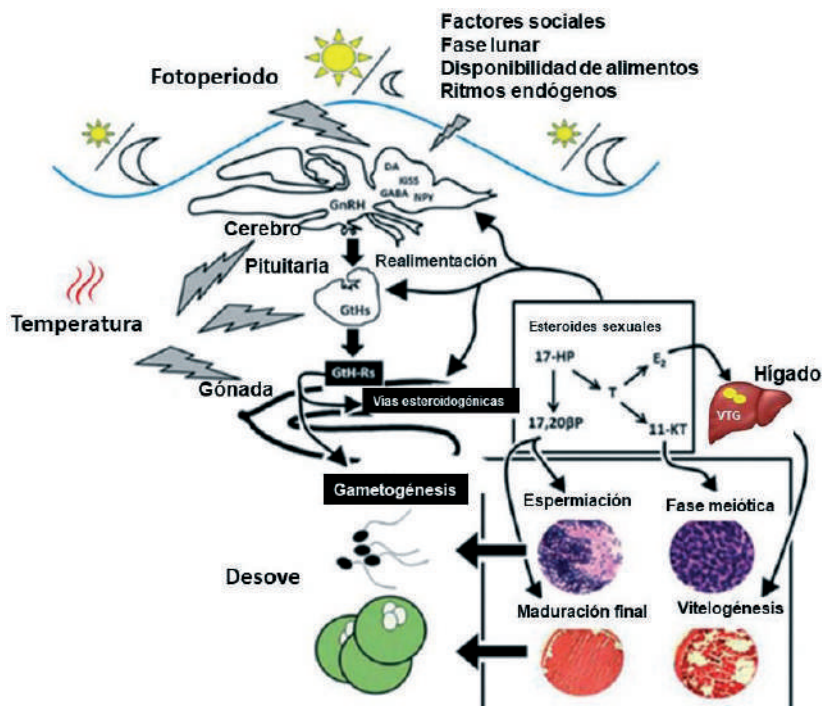


Figura 2. Representación esquemática del efecto de la temperatura y el fotoperiodo en la regulación del eje hipotálamo - hipófisis - gónada de los peces. Tomado de Miranda *et al.* (2013).

La captación de contaminantes como los metales pesados y sus impactos en la fisiología de los peces, también está influenciado con el aumento de la temperatura (Sokolova y Lannig, 2008; Dijkstra *et al.*, 2013). Por ejemplo, se sabe que la acumulación de mercurio en los peces depende de las propiedades fisicoquímicas del agua (temperatura, pH y alcalinidad). Dijkstra *et al.* (2013) documentaron mediante pruebas de laboratorio y de campo utilizando los peces *Fundulus heteroclitus*, que el aumento de temperatura puede aumentar la exposición y la bioacumulación a metilmercurio (MeHg) en peces, así como su bioacumulación y su transferencia trófica a través de las redes alimentarias marinas e inclusive la humana.

Acidificación

Además de los efectos directos de la alta temperatura, existen otros factores como los incrementos en las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) que pueden alterar los funcionamientos normales de los océanos (Gooding *et al.*, 2009). En los últimos años, las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera han aumentado de los 400 μm de CO₂, y se espera que alcancen aproximadamente los 1 000 CO₂ μm para el año 2100 (IPCC, 2014).

Aproximadamente el 30 % del exceso de CO₂ en la atmósfera producida por las industrias como la aviación y la automotriz, la combustión de combustibles fósiles y la agricultura, es absorbido por los océanos (figura 3a) (Doney *et al.*, 2009; IPCC,

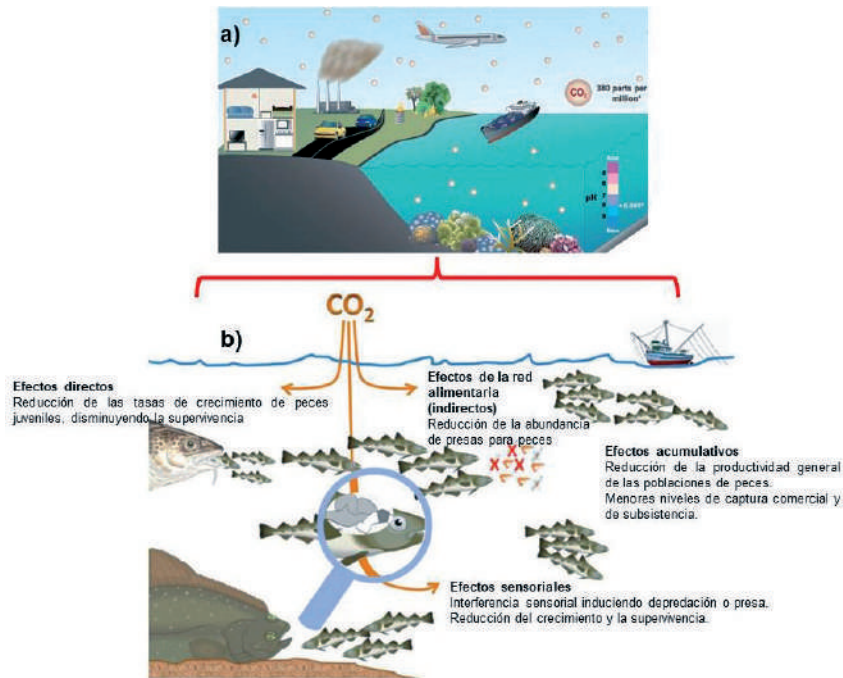


Figura 3. a) Principales factores antropogénicos que generan cantidades elevadas de dióxido de carbono (CO₂) dando como resultado acidificación del océano y b) sus efectos en los peces.

2014). Sin embargo, esta captación de CO₂ ha aumentado la disponibilidad de iones de hidrógeno (H⁺), ocasionado una reducción del pH de 0.1 unidades y aumentado el 30 % en la acidez. Se considera que si las emisiones actuales continúan, el pH podría descender otras 0,3 unidades, lo cual significaría un aumento de acidez de casi el 100 %, produciendo un fenómeno de "acidificación del océano", el cual provoca variaciones naturalmente frecuentes en las propiedades fisicoquímicas del agua de mar y afecta la biota de estos ecosistemas (Doney, 2009).

Los datos disponibles actualmente sobre los efectos del alto contenido de CO₂ en peces muestran cambios significativos en las funciones fisiológicas cruciales, como el crecimiento, el desarrollo de órganos, la supervivencia de peces larvales y el comporta-

miento (señales sensoriales), lo que los hace más susceptibles a los depredadores (figura 3b) (Melzner *et al.*, 2009; Bresolin de Souza *et al.*, 2014).

Muchas especies de peces teleósteos como los salmónidos pueden mantener el rendimiento metabólico durante un período de acidosis a través del ajuste de los iones relevantes ácido-base (HCO₃⁻ y Cl⁻) para mantener el pH de la sangre y los tejidos, y por lo tanto parecen ser más tolerantes (Hannan y Rummer, 2018). Sin embargo, en condiciones de presión parcial de dióxido de carbono (pCO₂) elevadas, la dirección del flujo de iones se invierte, lo que hace que la neurona se despolarice produciendo alteraciones conductuales y metabólicos (Nilsson *et al.*, 2012; Hannan y Rummer, 2018).

Muchos países, a pesar de los efectos que se están presentando a consecuencia de estas elevadas temperaturas y acidificación, todavía no toman conciencia de la importancia de los océanos y su biota. Solo una mínima parte del mundo, han impulsado esfuerzos globales para monitorear la biota marina y la salud del ecosistema (Edwards

et al., 2010). Estas gestiones sustentables las están realizando mediante diversos métodos de biomonitoreo que vinculan los cambios biológicos con el estado fisicoquímico de los océanos, que permiten identificar las tendencias ecológicas y predecir las trayectorias futuras de adaptación y conservación (Olusanya *et al.*, 2018).

Bioindicadores, biomarcadores, biomonitoreo y riesgo ecológico

El clima varía naturalmente como en respuesta a las influencias humanas. Por lo tanto, evaluar los impactos del cambio climático en la salud plantea desafíos, más a nivel comunidades y ecosistemas, donde ya se han detectado cambios atribuidos al cambio climático (Peck *et al.*, 2012).

Actualmente ha surgido la necesidad de desarrollar grupos multinacionales y líneas de investigación multidisciplinarias que evalúen el estado de salud de los hábitats naturales desde un punto de vista ecosistémico, es decir, que integren el estudio de los efectos puntuales (especies o ambiente) con la medición de las consecuencias poblacionales a corto, mediano y largo plazo, generando además estrategias sustentables desde una perspectiva global (McCrink-Goode, 2014). Para esto, los estudios de biomonitoreo son una de las herramientas actuales y más utilizadas en el análisis de mediciones de rutina destinadas a detectar cambios en el medio ambiente o la salud de las poblaciones. Una de las importancias en la aplicación de esta herramienta es que nos integran los impactos en la salud y los principales riesgos que la inducen. Sin embargo, el biomonitoreo de

los impactos del cambio climático en la salud es más complejo, debido a:

- **Distinción aparente del “cambio climático” real.** Las fluctuaciones naturales (estacionales e interanuales) no proporcionan evidencia directa de que el cambio climático esté induciendo directamente un efecto.
- **Atribución.** Dado que el clima es una de las muchas influencias en la salud, la atribución de un cambio observado en la salud de la población a un cambio asociado en el clima no es sencilla. La influencia de los cambios concurrentes en otros factores ambientales, sociales o de comportamiento debe permitirse primero.
- **Modificación de los efectos.** Con el tiempo, a medida que cambia el clima, también pueden ocurrir otros cambios que alteren la vulnerabilidad de la especie monitoreada (susceptibilidad). Por lo tanto, los estudios de monitoreo debe incluir mediciones paralelas de la población y datos ambientales, para permitir un análisis global de los efectos (Díaz, 2015).

Si bien la aplicación de los análisis químicos en los estudios de riesgo, solo nos permiten identificar una fracción de los contaminantes ambientales, a menudo los incluidos en las “listas de prioridad”. Sin embargo, las respuestas generales de la comunidad al cambio climático probablemente dependerán en gran medida de tales respuestas específicas e interespecíficas de cada especie (Peck *et al.*, 2012).

Impulsados por los requisitos de la legislación internacional como la OECDE, ISO, EPA, se utilizan diferentes grupos de organismos taxonómicos (algas, macrofitos, macroinvertebrados y peces) nombrados como “especies bioindicadoras”, para determinar el estado ecológico de los cuerpos de agua en todos los ecosistemas, en los estudios de biomonitoreo, incluida la evaluación de riesgos ambientales (Friberg *et al.*, 2011; Muñoz *et al.*, 2012). Además, dado que los bioindicadores difieren en los rasgos ecológicos de las cadenas tróficas, pueden informar si los contaminantes han penetrado hacia los niveles tróficos más altos (bioacumulación y biomagnificación) (Monroy *et al.*, 2014).

En relación a los factores ambientales y sus efectos sobre procesos biológicos, se han empezado a desarrollar métodos bioquímicos y moleculares de diagnóstico o alteraciones ecológicas rápidas y sensibles; que son registradas mediante cambios en la condición de los organismos evaluados. Dichos cambios son considerados como “biomarcadores” y pueden ser tan evidentes como la muerte de los individuos o muy sutiles, tales como cambios en la concentración o actividad de biomoléculas como: proteínas enzimáticas, respuesta al estrés, cambios en la estructura del ADN y la actividad de genes reguladores (Birk *et al.*, 2012; Van der Oost *et al.*, 2003).

Los biomarcadores son definidos como cualquier respuesta medible de tipo molecular, celular, histológica, fisiológica o conductual (Van der Oost *et al.*, 2003) y han sido adoptados como “señales de alerta temprana” del desequilibrio de los individuos, como el caso de los peces, ya que se ven alterados incluso a un bajo nivel de contaminación (Galloway, 2006). Por lo tanto los biomarcadores informan sobre los efectos negativos de la exposición a los contaminantes y de la degradación ambiental mucho tiempo antes de observar los efectos en el ecosistema, como disminución del tamaño de las poblaciones, pérdida de diversidad y alteración de la composición y estructura de las comunidades (Amiard-Triquet, 2013; Mayer *et al.*, 1992; Van der Oost *et al.*, 2003; Dzúl-Caamal *et al.*, 2018). Los órganos más importantes para el estudio de biomarcadores en los peces son las branquias, el hígado, los riñones y el cerebro (Dzúl-Caamal *et al.*, 2018).

En un intento por facilitar un ejemplo en la aplicación de los biomarcadores en los estudios de monitoreo, la sección a continuación ofrecen una visión general de los biomarcadores de estrés oxidativo en peces.

Biomarcadores de estrés oxidativo como respuesta a cambios de temperatura y acidificación

A pesar de los estudios recientes que documentan las interacciones entre los contaminantes (ejemplo el MeHg) y los efectos del cambio climático (calentamiento y acidificación) en las especies que habitan los ecosistemas marinos, las consecuencias de la exposición a múltiples factores de estrés son aún en gran medida desconocidas (Sampaio *et al.*, 2018). Sin embargo, los ecotoxicólogos han estado trabajando en

el descubrimiento de nuevos parámetros que sean utilizados en el campo de la ecofisiología animal para detectar cambios en la salud de los peces silvestres y cultivados en condiciones controladas en respuesta al cambio climático, y un ejemplo de esto es a través de los biomarcadores de estrés oxidativo (Madeira *et al.*, 2016b; Samanta *et al.*, 2016).

El estado “redox” o “reacciones de oxidación-reducción”, es el equilibrio entre la tasa de generación de varias especies reactivas de oxígeno (ERO), por ejemplo, anión superóxido ($O_2^{\cdot -}$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y la tasa de su neutralización y detoxificación por enzimas antioxidantes [(superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT)], y no enzimáticas tales como glutatión reducido (GSH) y ácido ascórbico (AA) de los organismos (Storey y Storey, 2004; Sokolova y Lannig, 2008; Lushchak, 2011). Sin embargo, cuando la producción de ERO se excede, se produce un desequilibrio y se conduce a una alteración en la homeostasis celular que puede producir oxidación de macromoléculas biológicas como los lípidos (peroxidación de lípidos), proteínas (carbonilación de proteínas) y aductos de ácidos nucleicos (Finkel 2003; Storey y Storey, 2005).

Estos cambios en las respuestas en los organismos se denominan comúnmente “estrés oxidativo” y se utilizan como biomarcadores para estudiar los efectos a los cambios ambientales o a la exposición a contaminantes (Lushchak, 2011; Valavanidis *et al.*, 2006). Según Blier (2014), el estrés oxidativo se utiliza para evaluar el estado metabólico y la salud de los organismos, que a su vez son herramientas valiosas para el manejo y la conservación de poblaciones silvestres (Blier, 2014).

Esta ampliamente documentado que las ERO son generadas continuamente por las peces en condiciones normales. Sin embargo, sus niveles pueden incrementarse en respuesta a los cambios abióticos (figura 4) (Freire *et al.*, 2011; Madeira *et al.*, 2016b). Siendo más notorios estos efectos en organismos que habitan en aguas poco profundas (poca inercia térmica) como los peces juveniles que habitan en viveros como estuarios y lagunas costeras (Madeira *et al.*, 2016a).

Varios estudios en organismos marinos han demostrado que los productos del estrés oxidativo cambian en respuesta al cambio climático, en énfasis a los incrementos de temperatura y la acidificación (figura 5) (Abele *et al.*, 2012; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>). Por ejemplo, Maulvault *et al.* (2017) documentaron efectos ecotoxicológicos inducidos por el metilmercurio (MeHg) en la especie de pez comercial *Dicentrarchus labrax* expuestas durante 28 días a 8.0 mg/Kg de MeHg y un aumento de temperatura de + 4 °C. Los principales biomarcadores afectados mencionan inhibiciones en la GST (69 %), SOD (47 %) y AChE (55 %). Rosa *et al.* (2016) revelaron cambios respiratorios, neuronales y en las respuestas enzimáticas antioxidantes del tiburón de bambú (*Chiloscyllium punctatum*) recientemente eclosionado a los efectos combinados del calentamiento del océano tropical (+4; 30 °C) y la acidificación (ΔpH 0.5). A pesar que las enzimas antioxidantes (glutatión S-transferasa, superóxido dismutasa y catalasa) actuaron en concierto para desintoxicar las ERO, esta regulación no fue suficiente para minimizar el aumento del daño oxidativo (Rosa *et al.*, 2016).

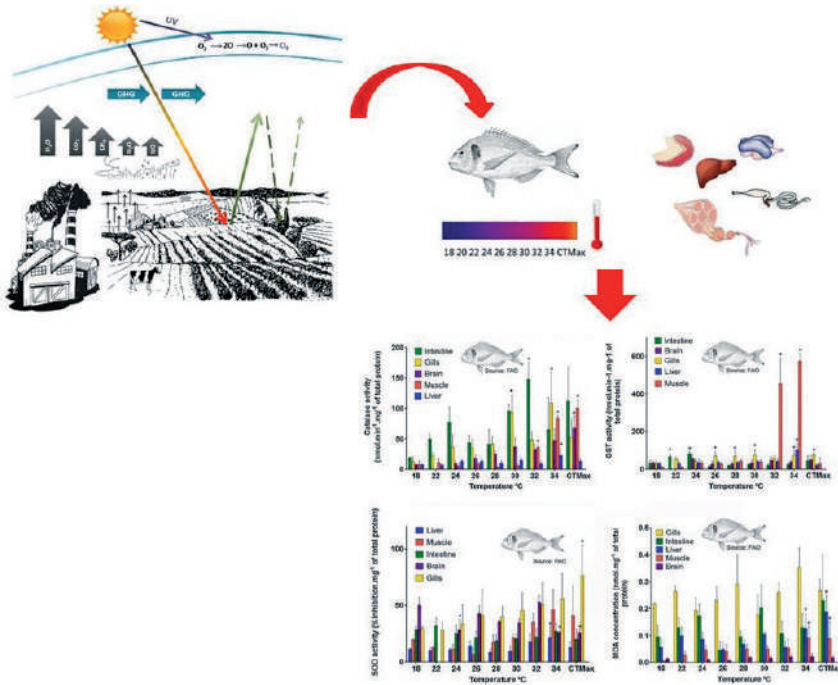


Figura 4. Impactos del cambio climático y sus efectos potenciales en el estrés oxidativo de peces marinos. Modificado de Madeira *et al.* (2016a) y Cassia *et al.* (2018).

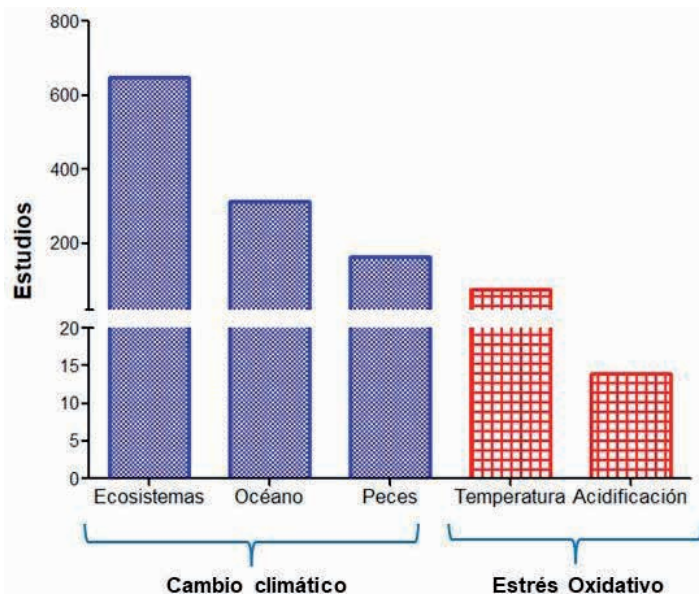


Figura 5. Artículos en PubMed usando cambio climático como límites y términos de búsqueda: “Ecosistemas”, “Océano”, “Peces”, “Incremento de temperatura” e “Incremento de acidificación” (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>).

Otra de las respuestas comunes a las condiciones estresantes de temperatura en los peces es la respuesta al choque térmico (HSR) (Tomanek, 2010), que consiste en la síntesis de un grupo específico de proteínas que son responsables de la estabilización y el repliegamiento de proteínas desnaturadas como respuesta al aumento de las temperaturas (Tomanek, 2010). Dado su amplio alcance, estos componentes de las maquinarias antioxidantes enzimáticas y proteínas chaperonas se utilizan ampliamente como biomarcadores en ecotoxicología para evaluar las respuestas fisiológicas de estrés de los peces (Blier, 2014).

Uso de biomarcadores en el monitoreo del cambio climático, desafíos y próximos pasos de los tomadores de decisiones en los diferentes niveles de gestión

Debido al alto valor económico y ecológico que representa el ambiente marino, urge la necesidad de unir esfuerzos para integrar herramientas a nivel local, regional y nacional para la adaptación ante el cambio climático. Para esto, es necesario que los tomadores de decisiones (gubernamentales y no gubernamentales) tengan conocimiento sobre los riesgos y las acciones para reducir su vulnerabilidad o lograr su adaptación (CARE, 2009). Asimismo, deben estar atentos a las propuestas, evolución, manejo de políticas y leyes relacionadas al cambio climático (Navarro-Ortega *et al.*, 2015).

Un enfoque prometedor ante la actual crisis al cambio climático como se ha mencionado en este capítulo es a través de una gestión basada en el uso de biomarcadores y su aplicación como herramienta de biomonitoreo, con el fin de mantener los ecosistemas marinos sanos y poder brindar un buen manejo (Pikitch *et al.*, 2004; Gar-

cía y Cochrane, 2005). Sin embargo, para llevar a cabo estos estudios de vigilancia se debería trabajar en equipo entre investigadores, funcionarios, organismos pesqueros, gestores, comunidades, ONG locales, departamentos meteorológicos y autoridades de gestión de la vida silvestre, con el fin de generar adaptación o mitigación (OCDE, 2009; Boithias *et al.*, 2014).

Respecto a los indicadores medibles del cambio climático, estos se pueden desarrollar de acuerdo a los efectos de los factores ambientales en los diferentes ecosistemas acuáticos (Navarro-Ortega *et al.*, 2015). Los indicadores del clima oceánico son mediciones que proporcionan información sobre la presencia y los impactos del cambio climático en una región y sus componentes. Se pueden dividir en dos categorías: indicadores biológicos (biomarcadores de estrés oxidativo, abundancia de una especie de peces o la extensión del hábitat biogénico, como el lecho de mar, algas marinas o lechos de mejillones), que permiten el monitoreo de la respuesta biológica de un ecosistema al cambio climático, e indicadores físicos (nivel del mar, temperatura de la superficie del mar o el pH del agua), que permiten el monitoreo de cambios en el entorno físico (Duncan *et al.*, 2013; Boithias *et al.*, 2014).

Respecto a los costos de inversión en los estudios de monitoreo, estos son dependientes al tipo de ecosistema acuático que se requiera monitorear. Por ejemplo, los ecosistemas de aguas dulce tienden a tener sistemas de monitoreo más simples, que van de inventarios de campo a la observación sistemática y la recopilación más informal de información. Una vez que se reconoce la necesidad del ecosistema acuático a monitorear, se debe abordar la cuestión o la variable de lo que debe ser monitoreado,

como, por ejemplo: establecer, registrar y definir la línea-base y los indicadores para registrar o evaluar los cambios (Duncan *et al.*, 2013).

Otra de las recomendaciones importantes en el monitoreo es cuando llevarlos a cabo. Para esto se deben establecer plazos fijos, como cuando hay cambios observados en el clima, o cuando cambia una normativa o si el cambio se produce rápidamente y los impactos son significativos (Collins *et al.*, 2012).

Respecto al papel del gobierno en la toma de decisiones, estos deben invertir en el monitoreo básico, apoyando proyectos a fin de demostrar los beneficios de un buen manejo. En muchos casos, arreglos innovadores tendrán que ser puestos en práctica para incorporar las competencias locales y para poder ser apoyados por otras instituciones. Por lo tanto, siempre que sea posible, se deben combinar los conocimientos especializados de investigadores, académicos, profesionales y de las comunidades de

los usuarios de recursos para aumentar el poder de monitoreo y proporcionar la plataforma de gestión de los recursos necesaria para abordar las amenazas del cambio climático (Collins *et al.*, 2012).

El empleo de biomarcadores permitirá evaluar las respuestas biológicas a los factores estresantes tanto en condiciones de laboratorio como en el campo (Galloway, 2006). Esto es con el fin de establecer evidencia de los sistemas naturales y mejorar las estrategias de manejo (Galloway, 2006). Por ejemplo, los cambios de la temperatura de la superficie del mar pueden ayudar a identificar hábitats y especies costeras y marinas que son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático. Finalmente, sugerimos que el riesgo ecológico producido por cambio climático, se evaluará mejor si los monitoreos se realizaran por temporadas o por diferentes campañas de muestreo para aumentar aún más la relevancia ecológica (Collins *et al.*, 2012).

Conclusiones

Esta revisión apoya el uso y aplicación de los biomarcadores en los estudios de biomonitoreo como herramienta para detectar los efectos tempranos en las poblaciones antes de que un sistema pueda colapsar en un estado desde el cual la recuperación sea difícil, muy costosa o imposible (extinciones de especies). Los efectos documentados que ejercen los cambios de temperatura y la acidificación de los ecosistemas acuáticos en énfasis en los peces es una de las amenazas ecológicas más extendidas y peligrosas porque causa cambios abruptos en los diferentes niveles de los ecosistemas acuáticos

con consecuencias ecológicas, sociales y económicas impredecibles. Por lo que urge la necesidad de que los diferentes sectores gubernamentales en conjunto con grupos científicos, gestores gubernamentales y sociedad tomen las medidas de prevención o mitigación para mantener el estado de salud de las comunidades acuáticas, ya que puede aumentar la resiliencia del ecosistema a largo plazo, efectos que ya se están observando actualmente. Por lo tanto, se deben aplicar acciones inmediatas como son los estudios de monitoreo, para reducir el riesgo ecológico. Para este fin, los bio-

marcadores son herramientas básicas para evaluar los efectos y ayudar a comprender y predecir mejor las consecuencias ecológicas ante el cambio climático.

Literatura citada

- Abele, D., J.P. Vázquez-Medina, y T. Zenteno-Savín, 2012. *Oxidative Stress in Aquatic Ecosystems*. Oxford, UK: *Wiley-Blackwell*, 524 p.
- Amiard-Triquet, C., J.C. Amiard, y P.S. Rainbow, 2013. *Ecological Biomarkers*. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Araoye, P.A., 2009. Physical factors and their influence on fish species composition in Asa Lake, Ilorin, Nigeria. *Revista de Biología Tropical*, 57: 167-175.
- Birk, S., W. Bonne, A. Borja, S. Brucet, A. Courrat, S. Poikane, A. Solimini, W. van de Bund, N. Zampoukas, y D. Hering, 2012. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, 18: 31-41.
- Blier, P., 2014. Fish health: an oxidative stress perspective. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 5: e105.
- Boithias, L., V. Acuña, L. Vergoñós, G. Ziv, R. Marcé, y S. Sabater, 2014. Assessment of the water supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. *Science of the Total Environment*, 470-471: 567-77.
- Brander, K.M., 2007. Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104:19709-19714.
- Bresolin de Souza, K., F. Jutfelt, P. Kling, L. Förlin, y J. Sturve, 2014. Effects of increased CO₂ on fish gill and plasma proteome. *PLoS One*. 9(7): e102901.
- CARE, 2009. *Climate Vulnerability and Capacity Analysis Handbook*: https://www.care.org/sites/default/files/documents/CC-2009-CARE_CVCAHandbook.pdf.
- Cassia, R., M. Nocioni, N. Correa-Aragunde, L. Lamattina, 2018. Climate Change and the Impact of Greenhouse Gases: CO₂ and NO, Friends and Foes of Plant Oxidative Stress. *Frontiers in Plant Science*, 9: 273.
- Collins, A., D.G. Ohandja, D. Hoare, y N. Voulvoulis, 2012. Implementing the Water Framework Directive: a transition from established monitoring networks in England and Wales. *Environmental Science & Policy*, 17: 49-61.
- Dzul-Caamal, R., M. Lara-Flores, y J. Rendón von Osten, 2018. *Gambusia yucatanana* como modelo para estudios ecotoxicológicos en ecosistemas acuáticos de la península de Yucatán: situación actual y perspectivas. En "Contribuciones al Conocimiento de la Ecotoxicología y Química Ambiental en México. Volumen 2". Eds. M. Galar-Martínez; P. Ramírez-Romero; E. Gasca Pérez; L. Gómez-Oliván, J. Zavala-Aguirre; M. Arzate-Cárdenas; R. Rico-Martínez. Escuela Nacional de Ciencias biológicas-Instituto Politécnico Nacional (ENCB-IPN). En prensa.
- Díaz, R., 2015. *Desarrollo Sustentable, una oportunidad para la vida*. Mc Graw Hill Education, Ciudad de México, México.
- Dijkstra, J.A., K.L. Buckman, D. Ward, D.W. Evans, M. Dionne, y C.Y. Chen, 2013. Experimental and natural warming elevates mercury concentrations in estuarine fish. *PLoS One*, 8 (3): 1-9.
- Doney, S.C., V.J. Fabry, R.A. Feely, y J.A. Kleypas, 2009. Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science*, 1: 169-92.
- Duncan, B.E., K.D. Higgason, T.H. Suchanek, J. Largier, J. Stachowicz, S. Allen, S. Bograd, R. Breen, H. Gellerman, T. Hill, J. Jahncke, R. Johnson, S. Lonhart, S. Morgan, J. Roletto, y F. Wilkerson, 2013. *Ocean Climate Indicators: A Monitoring Inventory and Plan for Tracking Climate Change in the North-central California Coast and Ocean Region*. Report of a Working Group of the Gulf of the Farallones National Marine Sanctuary Advisory Council, 74 p.
- Edwards, M., G. Beaugrand, G.C. Hays, J.A. Koslow, y A.J. Richardson, 2010. Multi-decadal oceanic ecological datasets and their application in marine policy and management. *Trends in ecology & evolution*, 25(10): 602-10.

- Espinoza-Tenorio, A., I. Espeje, M. Wolff, y J.A. Zepeda-Domínguez, 2011. Contextual factors influencing sustainable fisheries in Mexico. *Marine Policy*, 35(3): 343–350.
- FAO, 2016. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. I5798ES/2/01.17, 24 p.
- Ficke, A.D., C.A. Myrick, y L.J. Hansen, 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17: 581–613.
- Finkel, T., 2003. Oxidant signals and oxidative stress. *Current Opinion in Cell Biology*, 15: 247–254.
- Flynn, E.E., B.E. Bjelde, N.A. Miller, y A.E. Todgham, 2015. Ocean acidification exerts negative effects during warming conditions in a developing Antarctic fish. *Conservation Physiology*, 3: 1–16.
- Freire, C.A., A.F. Welker, J.M. Storey, K.B. Storey, y M. Hermes-Lima, 2011. Oxidative stress in estuarine and intertidal environments (temperate and tropical). p. 41–57. In: Abele, D, Vázquez-Medina, J.P, Zenteno-Sávin, T. (Eds.), *Oxidative Stress in Aquatic Ecosystems*. Wiley-Blackwell Publishing, Chichester.
- Friberg, N., N., Bonada, D.C. Bradley, M.J. Dunbar, F.K. Edwards, J. Grey, R.B. Hayes, A.G. Hildrew, N. Lamouroux, M. Trimmer, G. Woodward, 2011. Biomonitoring of human impacts in freshwater ecosystems: the good, the bad and the ugly. *Advances in Ecological Research*, 44: 1–68.
- Galloway, T.S., 2006. Biomarkers in environmental and human health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 53 (10): 606–613.
- Gooding, R.A., C.D.G. Harley, y E. Tang, 2009. Elevated water temperature and carbon dioxide concentration increase the growth of a keystone echinoderm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(23): 9316–9321.
- Hannan, K.D., y J.L. Rummer, 2018. Aquatic acidification: a mechanism underpinning maintained oxygen transport and performance in fish experiencing elevated carbon dioxide conditions. *Journal of Experimental Biology*, 221(Pt 5): pii: jeb154559.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Islam, M.M., S. Sallu, K. Hubacek, y J. Paavola, 2014. Vulnerability of fisherybased livelihoods to the impacts of climate variability and change: insights from coastal Bangladesh. *Regional Environmental Change*, 14:281–294.
- Jeppesen, E., M. Meerhoff, K. Holmgren, I. González-Bergonzoni, F. Teixeira-de Mello, S. Declerck, L. De Meester, M. Søndergaard, T. L. Lauridsen, R. Bjerring, J. Conde-Porcuna, N. Mazzeo, C. Iglesias, M. Reizenstein, H. Malmquist, Z. Liu, D. Balayla, y X. Lazzaro, 2010. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia*, 646: 73–90.
- Lushchak, V.I., 2011. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, 101(1): 13–30.
- Madeira, D., C. Vinagre, y M.S. Diniza, 2016a. Are fish in hot water? Effects of warming on oxidative stress metabolism in the commercial species *Sparus aurata*. *Ecological Indicators*, 63: 324–331.
- Madeira, D., P.M. Costa, C. Vinagre, y M.S. Diniz, 2016b. When warming hits harder: survival, cellular stress and thermal limits of *Sparus aurata* larvae under global change. *Marine Biology*, 163: 91.
- Maulvault, A.L., V. Barbosa, R. Alves, A. Custódio, P. Anacleto, T. Repolho, P. Pousão Ferreira, R. Rosa, A. Marques, y M. Diniz, 2017. Ecophysiological responses of juvenile seabass (*Dicentrarchus labrax*) exposed to increased temperature and dietary methylmercury. *Science of the Total Environment*, 586: 551–558.
- Mayer, F.L., D.J. Versteeg, M.J. McKee, L.C. Folmar, R.L. Graney, D.C. McCume, y B.A. Rattner, 1992. Physiological and Nonspecific Biomarkers. p. 5–85. En: Huggett, R. J., R. A. Kimerle, P. M. Jr. Mehrle y H. L. Bergman (Eds.). *Biomarkers. Biochemical, Physiological and Histological Markers of Anthropogenic Stress*. Lewis Publishers. Chelsea, EU, 85 p.
- McCrink-Goode, M., 2014. Pollution: A Global Threat. *Environment International*, 68C: 162–170.
- Melzner, F., S. Gobel, M. Langenbuch, M.A. Gutowska, H.O. Portner, y M. Lucassen, 2009. Swimming performance in Atlantic Cod (*Ga-*

- dus morhua*) following long-term (4-12 months) acclimation to elevated seawater P-CO₂. *Aquatic Toxicology*, 92: 30-37.
- Miranda, L.A., T. Chalde, M. Elisio, y C.A. Strüssmann, 2013. Effects of global warming on fish reproductive endocrine axis, with special emphasis in pejerrey *Odontesthes bonariensis*. *General and Comparative Endocrinology*, 192: 45-54.
- Monroy, M., A. Maceda-Veiga, y A. de Sostoa, 2014. Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487: 233-244.
- Molinos, J.G., B.S. Halpern, D.S. Schoeman, C.J. Brown, W. Kiessling, P.J. Moore, J.M. Pandolfi, E.S. Poloczanska, A.J. Richardson, y M.T. Burrows, 2016. Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. *Nature Climate Change*. 6(1): 83-8.
- Muñoz, I., S. Sabater, y C. Barata, 2012. Evaluating ecological integrity in multistressed rivers: from the currently used biotic indices to newly developed approaches using biofilms and invertebrates. p. 219-241. In: Guash, H., Ginebrada, A., Geiszener, A. (Eds.), *Emerging and Priority Pollutants in Rivers. The Handbook of Environmental Chemistry Series*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Nagelkerken, I., y S.D. Connell, 2015. Global alteration of ocean ecosystem functioning due to increasing human CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(43):13272-7.
- Navarro-Ortega, A., V. Acuña, A. Bellin, P. Burek, G. Cassiani, R. Choukr-Allah, S. Dolédec, A. Elosegi, F. Ferrari, A. Ginebrada, P. Grathwohl, C. Jones, P.K. Rault, K. Kok, P. Koundouri, R.P. Ludwig, R. Merz, R. Milacic, I. Muñoz, G. Nikulin, C. Paniconi, M. Paunović, M. Petrovic, L. Sabater, S. Sabaterb, N.T. Skoulikidis, A. Slob, G. Teutsch, N. Voulvoulis, y D. Barceló, 2015. Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity. The GLOBAQUA project. *Science of the Total Environment*, 503-504: 3-9.
- Nesar A., y S.D. James, 2016. Does climate change matter for freshwater aquaculture in Bangladesh?. *Regional Environmental Change*. 16: 1659-1669.
- Nilsson, G.E., D.L. Dixon, P. Domenici, M.I. McCormick, C. Sørensen, S.A. Watson, y P.L. Munday, 2012. Near-future carbon dioxide levels alter fish behaviour by interfering with neurotransmitter function. *Nature Climate Change*, 2: 201-204.
- OCDE, 2009. Guía sobre Políticas – Integración de la Adaptación en la Cooperación para el Desarrollo. Parte III: Integrando la Adaptación al Cambio Climático a Nivel Local.
- Olusanya, H.O., y M. van Zyll de Jong, 2018. Assessing the vulnerability of freshwater fishes to climate change in Newfoundland and Labrador. *PLoS One*. 13(12): e0208182.
- Palmer, C.P., 2017. Marine biodiversity and ecosystems underpin a healthy planet and social well-being. *UN Chronicle*, 54(2): 59-61.
- Peck, M.A., K.B. Huebert, y J.K. Llopiz, 2012. Intrinsic and extrinsic factors driving match-mismatch dynamics during the early life history of marine fishes. *Advances in Ecological Research*, 47: 178-278.
- Perry, D.M., D.H. Redman, J.C. Widman, S. Meeseck, A. King, y J.J. Pereira, 2015. Effect of ocean acidification on growth and otolith condition of juvenile scup, *Stenotomus chrysops*. *Ecology and Evolution*, 5: 4187-4196.
- Pikitch, E.K., C. Santora, E.A. Babcock, A. Bakun, R. Bonfil, D.O. Conover, P. Dayton, P. Doukakis, D. Fluharty, B. Heneman, E.D. Houde, J. Link, P.A. Livingston, M. Mangel, M.K. McAllister, J. Pope, y K.J. Sainsbury, 2004. Ecosystem-based fishery management. *Science*, 305, 346-347.
- Pörtner, H.O., y R. Knust, 2007. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science*, 315: 95-97.
- Reid, P.C., A.C. Fischer, E. Lewis-Brown, M.P. Meredith, M. Sparrow, A.J. Andersson, A. Antia, N.R. Bates, U. Bathmann, G. Beaugrand, H. Brix, S. Dye, M. Edwards, T. Furevik, R. Gangstø, H. Hátún, R.R. Hopcroft, M. Kendall, S. Kasten, R. Keeling, C. Le Quéré, F.T. Mackenzie, G. Malin, C. Mauritzen, J. Olafsson, C. Paull, E. Rignot, K. Shimada, M. Vogt, C. Wallace, Z. Wang, y R. Washington, 2009. Chapter 1. Impacts of the oceans on climate change. *Advances in Marine Biology*, 56: 1-150.
- Rosa, R., J.R. Paula, E. Sampaio, M. Pimentel, A.R. Lopes, M. Baptista, M. Guerreiro, C. Santos, D. Campos, V.M.F. Almeida-Val, R. Calado, M. Diniz, y T. Repolho, 2016. Neuro-oxidative damage and aerobic potential loss of sharks under elevated CO₂ and warming. *Marine Biology*, 163: 119.

- Samanta, L., y B. Paital, 2016. Effects of seasonal variation on oxidative stress physiology in natural population of toad *Bufo melanostictus*; clues for analysis of environmental pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(22): 22819-22831.
- Sampaio, E., A.R. Lopes, S. Francisco, J.R. Paula, M. Pimentel, A.L. Maulvault, T. Repolho, T.F. Grilo, P. Pousão-Ferreira, A. Marques, y R. Rosa, 2018. Ocean acidification dampens physiological stress response to warming and contamination in a commercially-important fish (*Argyrosomus regius*). *Science of the Total Environment*, 618: 388-398.
- Sokolova, I., y G. Lannig, 2008. Interactive effects of metal pollution and temperature on metabolism in aquatic ectotherms: implications of global climate change. *Climate Research*, 37: 181-201.
- Storey, K. B., y J.M. Storey, 2004. Oxygen limitation and metabolic rate depression. In *Functional Metabolism: Regulation and Adaptation*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 415-442 p.
- Strüssmann, C.A., D.O. Conover, G.M. Somoza, y L.A. Miranda, 2010. Implications of climate change for the reproductive capacity and survival of atherinopsid fish species. *Journal of Fish Biology*, 77: 1818-1834.
- Tomanek, L., 2010. Variation in the heat shock response and its implication for predicting the effect of global climate change on species' biogeographical distribution ranges and metabolic costs. *Journal of Experimental Biology*, 213: 971-979.
- Valavanidis, A., T. Vlahogianni, M. Dassenakis, y M. Scoullou, 2006. Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64:178-189.
- Van der Oost, R., J. Beyer, y N.P. Vermeulen, 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13: 57-149.
- Wernberg, T., D.A. Smale, F. Tuya, M.S. Thomsen, T.J. Langlois, T. de Bettignies, S. Bennett, y C.S. Rousseaux, 2013. An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot. *Nature Climate Change*, 3: 78-82.

Pautas para la conservación y manejo de impactos ambientales en pastos marinos

*J. A. Herrera-Silveira, S. M. Morales-Ojeda,
J. E. Mendoza-Martínez, J. Ramírez-Ramírez y T. Cota Lucero*

Resumen

Las praderas de pastos marinos son un ecosistema cuya conservación es imprescindible para asegurar el desarrollo económico y de bienestar humano de la zona costera de México. Las praderas saludables de pastos marinos son responsables de mantener a las pesquerías, ya que es en los pastos donde ocurre el desove de peces y crustáceos de importancia comercial los cuales, posteriormente utilizan el hábitat para refugio y crianza, además otras especies con potencial ecoturístico como manatí y tortu-

gas marinas, lo utilizan como sitio de alimentación y descanso; adicionalmente los pastos marinos regulan procesos físicos que favorecen la estabilización y previenen la erosión de la línea de costa por lo cual son considerados como infraestructura verde; al igual tiene un papel fundamental en mantener la calidad del agua y últimamente se reconoce la importancia de su conservación y rehabilitación para medidas de mitigación y adaptación al cambio climático debido a las altas tasas de secuestro y almacén de gases de efecto invernadero. No obstante, al ser parte del ecosistema costero las praderas se ven amenazadas por impactos de origen natural (huracanes, tormentas, cambios en la calidad del agua) y antrópico (remoción mecánica, dragados, modificación de la hidrodinámica). Por lo tanto, ¿qué podemos hacer para preservar estos importantes ecosistemas? El conservar estos hábitats requiere la integración de medidas de protección a las especies, política pública para regular las actividades que impactan a las praderas, fomento distintas líneas de investigación que provean información para la restauración exitosa de estos hábitats y sensibilización de la población sobre la importancia de estos hábitats.

Palabras clave: pastos marinos, conservación, cambio climático,

Introducción

Entre los hábitats de la zona costera destacan las praderas de pastos marinos, los cuales constituyen unos de los elementos clave en el funcionamiento de los litorales. Este importante componente ecológico y económico de los ecosistemas costeros se distribuye en todo el mundo excepto en la Antártica (Green y Short, 2003).

Los pastos marinos son angiospermas acuáticas, es decir, plantas con flores y con raíces verdaderas, que se han adaptado a vivir y reproducirse completamente bajo el agua; crecen en bahías, lagunas y zonas cercanas a la costa de baja profundidad (Larkum *et al.*, 2006). Las especies de pastos marinos pertenecen a dos familias: Potamogetonaceae e Hydrocharitaceae, dentro de las cuales se agrupan 12 géneros con cerca de 59 especies (Larkum *et al.*, 2006; Hemminga y Duarte, 2000). Una característica destacada de los pastos marinos es que en promedio su biomasa por unidad

de área es mayor que la de otros productores primarios marinos como el fitoplancton (Duarte y Chiscano, 1999).

Los pastos forman extensas praderas distribuidas en estuarios, marismas, pantanos y lagunas costeras. En mares costeros someros pueden presentarse hasta el límite externo de la plataforma continental, donde alcanzan mayor extensión y densidad (Lipkin, 1979). Prefieren los sustratos suaves, aunque hay especies que pueden ser registradas creciendo en un sustrato más rocoso. Se ubican principalmente en zonas cercanas a la costa debido a sus requerimientos de luz. Pueden formar grandes praderas monoespecíficas o encontrarse varias especies juntas (Green y Short, 2003).

Se ha identificado que para los pastos marinos las variables ambientales determinantes para su distribución y abundancia son: luz, la temperatura y salinidad del agua, características del sedimento (in-

cluye estresores y recursos), movilidad del agua, nutrientes y ácido sulfhídrico (Alongi, 1998). Además de los requerimientos físicos y químicos para su crecimiento, la competencia biológica por parte de otras especies también influye en el crecimiento y distribución de los pastos marinos.

Los pastos marinos necesitan como elemento principal a la luz, la cual penetra a través de la columna de agua y permite la fotosíntesis dando como resultado el crecimiento y la supervivencia. La intensidad de la luz decrece rápidamente con la profundidad del agua, incluso en aguas oceánicas transparentes. Un aspecto importante es que la radiación fotosintéticamente activa (PAR), cuyas longitudes de onda (350 - 700 nm) no pueden penetrar el agua a más de 20 m, incluso en aquellas muy transparentes debido a la absorción del agua pura; por lo tanto, la presencia de sustancias particuladas o solubles (sedimento, microalgas, etc.) en la columna de agua atenúan la luz, a tal grado que no llega en las concentraciones y calidad requerida para mantener las funciones vitales de los pastos marinos (Hemminga y Duarte, 2000).

La temperatura afecta indirectamente a la fotosíntesis debido a que muchos procesos metabólicos como la respiración y la obtención de nutrientes dependen de la temperatura. Los pastos marinos que crecen en temperaturas bajas requieren de cantidades menores de luz para su óptimo crecimiento, mientras que las que crecen a altas temperaturas su requerimiento de luz es mayor para superar los efectos de la respiración para mantener el balance de carbono. Esto implica que el crecimiento de los pastos marinos está más afectado por menos luz en verano que en invierno. Las temperaturas altas pueden ocasionar que la planta sea más susceptible a enfermedades,

deseccación u otros estresores (Alongi, 1998).

El suministro de carbono es tan esencial como la luz para la fotosíntesis. el carbono constituye aproximadamente entre el 30 y 40 % del tejido en peso seco, siendo incorporado a los numerosos compuestos orgánicos que son esenciales para la estructura física y el funcionamiento metabólico de las plantas (Hemminga y Duarte 2000). Los pastos marinos pueden transportar el carbono a la planta por dos medios; absorben carbono desde la columna del agua por las hojas y del sedimento por las raíces. Absorben carbono inorgánico para usarlo en la fotosíntesis como monóxido de carbono o ión de bicarbonato, ya que el promedio de pH del agua salada normal es de 7.8-8.2, un nivel en el cual el monóxido de carbono libre no es abundante (Phillips y Meñez, 1988).

En cuanto a la salinidad, cada especie de pasto marino se asocia a valores medios típicos y también con valores extremos, fuera de los cuales las especies perecen. Muchas especies pueden tolerar un amplio intervalo de salinidad desde aguas salobres hasta aguas hipersalinas (Quammen y Onuf, 1993). Muchos pastos marinos tienen un buen crecimiento en rangos de salinidad de los 15 a los 55 ups y pueden sobrevivir en un rango de 5 a 140 ups. Sin embargo, datos observacionales y experimentales, sugieren que los pastos son sensibles a variaciones abruptas atípicas en los patrones de salinidad, en especial aquellos que tienen lugar en periodos de tiempo cortos, por lo que pueden presentar efectos negativos relativos a su presencia, persistencia o condición (Estévez, 2000).

El crecimiento y productividad de los pastos están influenciados por el movimiento del agua, particularmente en relación con

los estratos del agua en la superficie. En las camas de pastos marinos las corrientes aumentan los niveles de producción primaria, estas mezclan y distribuyen los nutrientes y gases, removiendo los residuos, sin embargo, las evaluaciones de la producción de los pastos y su relación con el umbral a partir de cual la velocidad de las corrientes afecta negativamente a los pastos marinos son escasas. En las praderas de pastos marinos, la turbulencia es reducida en la región central de las áreas que cubren, pero se incrementa significativamente en los bordes de las mismas (Alongi, 1998).

Las altas concentraciones de ácido sulfhídrico en el sedimento dañan a los pastos marinos, estas condiciones se presentan en sedimentos ricos en materia orgánica y pobres en hierro, así como en aquellos con escasa circulación. Por otra parte, los pastos marinos requieren diferentes tipos de nutrientes inorgánicos, siendo el fósforo y el nitrógeno los más importantes. El requerimiento de nutrientes en los pastos marinos es menor que en otros organismos como las macroalgas y el fitoplancton. Se estima que los pastos marinos requieren cuatro veces menos nitrógeno y fósforo por peso que las células de fitoplancton. Esto les confiere a los pastos marinos una ventaja para crecer en ambientes pobres en nutrientes en com-

paración con otros productores primarios (Greve y Binzer, 2004). Lo anterior es posiblemente debido a una eficiente toma de nutrientes de la columna de agua través de las hojas y del agua intersticial a través de las raíces (Romero *et al.*, 2006). Debido a lo anterior, el aumento en las concentraciones de nutrientes en la columna de agua y/o sedimentos tiene efectos negativos en esta comunidad.

El crecimiento y distribución de los pastos marinos también son afectados por otros organismos, principalmente por competencia o herbivoría. Altas concentraciones de nutrientes en la columna de agua suelen promover el desarrollo en grandes densidades de organismos epífitos sobre las hojas de los pastos marinos y también de algas filamentosas en la columna de agua, ambos ocasionan reducción en la concentración de luz que pasa a través de la columna de agua y llega a los pastos marinos. Además, los epífitos de las hojas limitan la toma de oxígeno, carbono inorgánico y nutrientes. Las algas filamentosas pueden formar densos agrupamientos en el fondo marino, reduciendo el flujo de agua alrededor de las hojas y reduciendo el contenido de oxígeno en el agua cuando se degradan (Greve y Binzer, 2004).

Lo que se sabe sobre el tema

Estructura y funcionamiento

Similar a las plantas terrestres, los pastos marinos tienen hojas, tallos, flores, semillas y raíces, que utilizan en el proceso de fotosíntesis para generar alimento y oxígeno (tabla 1). Debido a que necesitan luz para

la fotosíntesis, la buena calidad del agua es muy importante para su supervivencia.

Los pastos marinos son fanerógamas marinas, se consideran un grupo morfológicamente uniforme, ya que los tallos vegetativos de casi todos los géneros muestran el

mismo aspecto (figura 1), es decir, un sistema de raíces y rizomas bien desarrollado y hojas lanceoladas, siendo la única excepción el género *Halophila*. Dentro de este

patrón básico se presenta una gran diversidad en la forma de crecimiento, el sistema de ramificación y la estructura anatómica (Hemminga y Duarte, 2000).

Tabla 1. Estructuras de los pastos marinos y su función (Tomado de CEN, 2005).

Estructura de los Pastos marinos	Descripción/Función
Raíces	Para estabilidad y obtención de nutrientes.
Rizoma	Sistema de raíces que se extiende sobre y debajo del suelo, formando extensas praderas.
Shoots(rizoma vertical)	Para expandirse y crecer.
Tallos	Para el intercambio de nutrientes con todas las estructuras de la planta y como sostén.
Hojas	Área principal donde ocurre el proceso de fotosíntesis.
Cofia	Punto donde la hoja está unida al tallo, le da soporte a la hoja.
Flores, frutos y semillas	estructuras para la reproducción sexual.

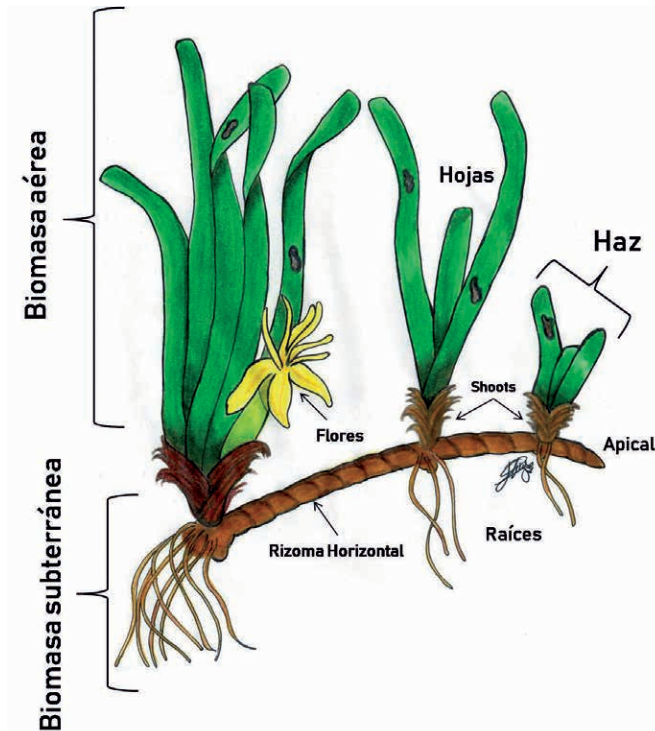


Figura 1. Morfología de los pastos marinos representada por *Thalassia testudinum*.

Los pastos marinos se anclan al sustrato por medio de su sistema de raíces. Su fuerte sistema radicular les permite mantenerse anclados soportando las corrientes y las olas, especialmente durante las tormentas. Su reproducción es subacuática, producen granos de polen filamentosos que son transportados por la corriente de agua (reproducción sexual). Otra forma de propagación se da a través de los órganos de almacenamiento subterráneo llamados rizomas (reproducción vegetativa o asexual), siendo este último, el principal mecanismo que utilizan los pastos marinos para colonizar un hábitat y de esa forma extenderse y permanecer en el tiempo (Marbá *et al.*, 2004).

Conocer las formas de reproducción y el éxito reproductivo de los pastos marinos es crucial para el manejo de estos ecosistemas, especialmente para estimar el tiempo que requieren los pastos para la recolonización de un área.

Valor ecológico, social y económico

Los pastos marinos producen una gran cantidad de beneficios y proveen servicios ecológicos (tabla 2). La presencia y abundancia de los pastos marinos, puede ser considerada como indicador de la calidad del ambiente de la zona costera (Terrados y Borum, 2004).

En adición a la pesca, el desarrollo urbano, el turismo y otras actividades recreativas importantes en el desarrollo económico de la zona costera, dependen de la calidad y estabilidad de la línea de costa, condiciones que son altamente reguladas por las praderas de pastos marinos (Terrados y Borum, 2004).

Costanza *et al.*, (1997) calcularon el valor global anual de los servicios del ecosistema

pastos/algas, resultando un valor de us \$19 004 por hectárea al año. Con un área total de 2 000 000 km² hizo un cálculo anual de us \$3.8 trillones, basado únicamente en su papel en el ciclo de nutrientes, el cual es sólo uno de muchos servicios del ecosistema.

Fuentes de contaminación e impacto ambiental

El ecosistema de pastos marinos no es estático, constantemente coloniza nuevos hábitats y está adaptado para soportar fenómenos naturales cíclicos (nortes y huracanes), que involucran cambios en temperatura, luz y nutrientes. No obstante, las actividades humanas son la principal causa de la reducción en las poblaciones a nivel mundial, siendo las principales causas de impacto la contaminación (eutrofización y metales pesados), acciones físicas (cicatrices por propelas de embarcaciones, remoción con fines estéticos, dragado, relleno construcción de estructuras de protección a la playa) y cambios funcionales o estructurales (introducción de especies exóticas de organismos provenientes de acuarios o agua de lastre) (Short y Wyllie-Echeverria 1996; Hemminga y Duarte 2000; Duarte 2002) (figura 2).

Procesos de contaminación

Las fuentes antrópicas que suministran contaminantes provienen de las comunidades costeras, tales como las descargas residuales, efluentes de descargas de plantas de tratamiento, actividades industriales, entre otros (agricultura, fertilización de jardines y campos de golf, aceites, tanques sépticos), las cuales ocasionan eutrofización (enriquecimiento por nutrientes) y contaminación por metales pesados. La operación de embarcaciones y dragas ocasionan pequeños

Tabla 2. Funciones y valores de los ecosistemas de pastos marinos (Spaulding *et al.*, 2003).

Función	Valor en el Ecosistema
Producción Primaria	Los pastos marinos son altamente productivos, y juegan un rol crítico como alimento para muchos herbívoros (tortugas, manatí, dugong, etc). Esta producción es exportada a ecosistemas adyacentes.
Estructura del dosel	La estructura de los pastos marinos provee un ambiente tridimensional, usado como hábitat, refugio y guardería por numerosas especies, incluyendo especies de importancia comercial y recreacional.
Epífitos y epifauna	Las hojas de los pastos marinos proveen espacio para epífitos y epifauna, proviendo una alta producción secundaria.
Nutrientes y filtración de contaminantes	Los pastos marinos ayudan a filtrar y a remover contaminantes de la columna de agua y sedimentos, mejorando la calidad del agua.
Filtración y trampa de sedimentos	La cobertura en combinación con la altura del dosel ayuda a estabilizar el sedimento evitando la resuspensión, mejorando la calidad del agua.
Estructura de la biomasa subterránea	La complejidad y las raíces y rizomas de los pastos marinos juegan un papel crítico en la retención del sedimento.
Producción de oxígeno	El oxígeno resultante de la fotosíntesis ayuda a mejorar la calidad del agua y ayuda a la fauna de la comunidad de pastos y a los hábitats adyacentes.
Producción y exportación orgánica	Muchos ecosistemas de pastos son exportadores netos de materiales orgánicos y ayuda a la productividad de los estuarios y a la zona alejada de la costa.
Regeneración y reciclado de nutrientes	Los pastos marinos retienen nutrientes en ambientes relativamente estables, y el reciclado de nutrientes puede ser relativamente eficiente, ayudando a la productividad general del ecosistema. Pueden funcionar como almacenes de C.
Acumulación de materia orgánica	Junto con los sedimentos la materia orgánica de raíces, rizomas y de las hojas se acumula en los hábitats cercanos a la línea de costa, incrementando el nivel del bentos y otras fuentes de alimento.
Reducción de energía de olas y corrientes.	Con la retención del sedimento y previniendo la acción directa de las olas en el bentos, los pastos marinos aminoran los efectos de las olas y la energía de las corrientes, reduciendo el proceso de erosión, la turbidez e incrementan la sedimentación.
Sustento del ecosistema	El ecosistema de los pastos marinos da sustento a una gran biodiversidad y provee de interacciones tróficas con otros ecosistemas importantes como los arrecifes de coral, manglares y marismas.
Secuestro de carbono	Como estructuras perennes, los pastos marinos son uno de los pocos ecosistemas marinos que retienen carbono por relativamente largos períodos de tiempo. En unos pocos lugares el carbón puede ser retenido en los sedimentos o transportado a la profundidad del océano y estos juegan un papel importante a largo plazo en el secuestro de carbono

derrames de gasolina, aceites y petróleo que constituyen una fuente de contaminación química para los pastos.

El sobre-enriquecimiento de nutrientes especialmente de nitrógeno y fósforo, es señalada como la mayor causa de degradación de los pastos marinos a nivel mundial (*e.g.* Cambridge y McComb, 1984; Short

y Wyllie-Echeverria, 1996; Bricker *et al.*, 1999; Green y Short, 2003). El principal efecto de la eutrofización consiste en la reducción de la concentración de luz disponible para la fotosíntesis de los pastos, esto ocurre debido a que especies oportunistas (macroalgas, fitoplancton y epífitos) incrementan en número y cobertura en respues-

Principales Fuentes de Impactos en Pastos Marinos

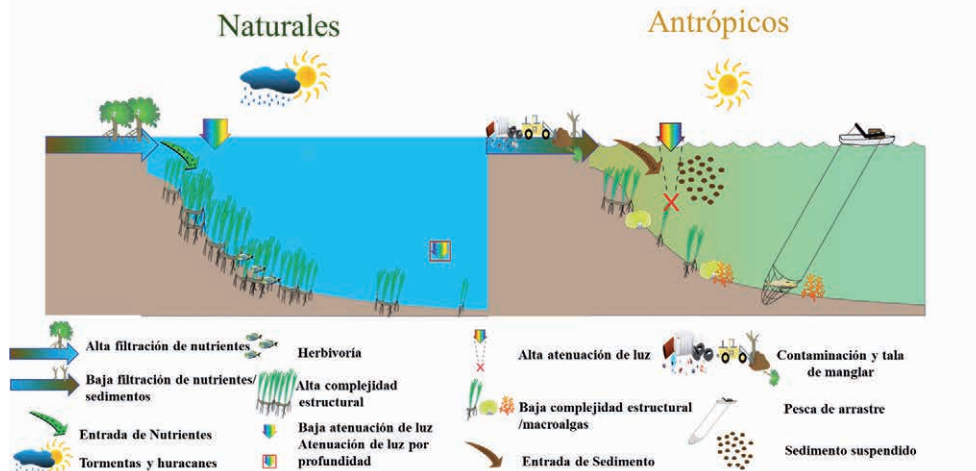


Figura 2. Impactos naturales y antropogénicos en los pastos marinos.

ta al alto contenido de nutrientes, lo cual representa para los pastos marinos competencia por la luz.

Los metales pesados de origen antrópico representan una de las mayores amenazas tóxicas para las praderas de pastos marinos. Estos contaminantes ingresan a los organismos a través de las raíces, principalmente al estar en contacto directo con los sedimentos que los contienen. La biodisponibilidad de los contaminantes está favorecida por actividades de dragado, pero también es influenciada por el pH del agua, tamaño de grano de los sedimentos, potencial redox, materia orgánica disuelta, salinidad, temperatura del agua y contenido orgánico de los sedimentos. Los metales pesados afectan el proceso de fotosíntesis en los pastos marinos por lo cual las tasas de crecimiento disminuyen (Ward, 1989; Romeo *et al.*, 1995; Schlacher-Hoenlinger y Schlacher, 1998).

Los petroquímicos provenientes de refinerías, puertos, marinas y de la escombrería

tienen poco impacto en los pastos marinos. Sin embargo, los derrames de petróleo ya sea cercanos a la costa o en mar profundo, pueden tener impacto severo en estos ecosistemas; si la mancha es continua y perdura un largo periodo de tiempo, interfiere con la luz que llega a los pastos marinos. También los dispersantes utilizados para la limpieza por sí solos o combinados con el petróleo representan una amenaza para los pastos marinos, ya que disminuye su resistencia ante otros estresores.

Acciones físicas

La insuficiencia de planeación de los desarrollos costeros en función de las condiciones ambientales de los sitios ocasiona cambios negativos al ambiente y afectan severamente la distribución y abundancia de los pastos marinos.

Más allá de ocasionar incremento en la descarga de nutrientes, la urbanización de la franja costera involucra la destrucción de dunas, que funcionan como depósitos

de arena. Con ello se promueve la erosión costera, que no solo afecta las playas, usualmente el impacto se propaga hasta las arenas submarinas que están colonizadas por pastos marinos, pudiendo haber exposición de sus raíces y rizomas, lo cual eventualmente ocasiona la pérdida de este hábitat crítico.

La lucha en contra de la erosión costera implica acciones para la protección de la línea de costa, que resultan costosas. Los más usuales son el relleno de playas y la construcción de estructuras (diques, rompeolas, embarcaderos, muelles, revestimientos, espolones, geotubos). Tales acciones deben estar respaldadas por estudios técnicos sitio-específicos interdisciplinarios que incluyan aspectos oceanográficos, hidrológicos, físicos, biológicos, ecológicos, de ingeniería y arquitectura, ya que de lo contrario estas acciones representan soluciones efectivas a corto plazo pero poco funcionales en el largo plazo, inclusive pudiendo ocasionar daños mayores a las propiedades del ecosistema tales como el valor estético, lo cual afecta económicamente a la industria turística y además resta plusvalía a las propiedades. Se debe considerar que los pastos marinos junto con los manglares y arrecifes representan la “infraestructura natural” ante eventos meteorológicos como tormentas, “nortes” y huracanes.

Las actividades turísticas relacionadas con la construcción de marinas y operación de embarcaciones (recreacionales y deportes motorizados) también afectan indirectamente al ambiente costero donde se desarrollan los pastos. Incluso el ancla de un crucero recreativo puede destruir un área de pastos marinos del tamaño de un campo de fútbol.

La construcción de las marinas implica acciones mecánicas como el dragado para

incrementar la profundidad de ríos, lagunas costeras y partes someras del mar, esta actividad incrementa la turbidez por la suspensión de sedimento y la biodisponibilidad de contaminantes. La intervención mecánica en los ambientes costeros para la construcción de marinas también puede resultar en la alteración del balance entre el agua dulce y el agua salada, modificaciones hidrológicas y patrones de oleaje, creándose condiciones ambientales poco favorables para los pastos marinos. Los muelles tienen efecto local de ensombrecimiento, por lo que deben considerarse modelos de construcción que tengan en cuenta prismas para que permitan la entrada y dispersión de la luz.

Al quedar concluidas las obras, el número de embarcaciones incrementa al igual que los efectos físicos relativos a la operación de embarcaciones motorizadas de propelas y dragas. Estos inciden en las praderas de pastos marinos creando cicatrices en la vegetación con las propelas, especialmente al no estar definidas las rutas de navegación.

Procesos globales: cambio climático

El cambio climático global se refiere a los cambios en el ambiente por el incremento de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero a la atmósfera. Las emisiones producidas por el hombre derivan en dramáticos e irreversibles cambios en las funciones como la producción primaria del océano, lo cual tiene profundas implicaciones para la biósfera marina, sumideros de carbono y biogeoquímica de la tierra. En el océano esto conlleva al decremento en la productividad, alteración en la dinámica de la cadena alimenticia y reducción del hábitat (Hoegh-Guldeberg y Bruno, 2010).

Debido a que la comunidad de pastos marinos típicamente se conecta con los hábitats terrestres, estuarinos, marismas y de manglar, el impacto del cambio climático en ellos es particularmente más profundo debido a las implicaciones que puede tener para la biota local y regional, la geomorfología cercana a la costa y los ciclos biogeoquímicos. Las predicciones existentes indican que los cambios en la distribución, estructura y abundancia de las comunidades de los pastos marinos podrían dispararse por el incremento de temperatura, el cual será el mayor reto particularmente en los hábitats someros. Otros efectos del

cambio climático que repercutirán en este hábitat crítico son el incremento del nivel medio del mar, aumento en la intensidad y frecuencia de los disturbios físicos (huracanes y tormentas). Especialmente la modificación de los patrones de precipitación, y volumen del caudal de las plumas de los ríos implicaría cambios en la salinidad e incremento en las descargas de nutrientes. Sin embargo, es importante recalcar que aún faltan estudios que sustenten la posible tolerancia al cambio climático, ya que las diferentes especies y arquitectura de los hábitats varían en su capacidad de adaptación.

Lo que se desconoce del tema

Los pastos marinos brindan importantes servicios ecosistémicos entre los que destacan la protección de costas, sustento de pesquerías, purificación del agua y el recientemente valorado secuestro de carbono. Su distribución sobre la zona costera trae consigo múltiples interacciones tanto naturales como de origen antropogénico. El aumento en el desarrollo urbano sobre las zonas costeras del mundo son uno de los factores más importantes relacionados con el deterioro de la salud de ecosistemas costeros (Singh *et al.*, 2001).

Sumado a esta problemática, los ecosistemas de pastos marinos son poco conocidos, al ser plantas adaptadas completamente al medio marino, su distribución se restringe desde el primer metro hasta los 20 metros de profundidad aproximadamente, con un porcentaje de luz incidente del 10-20 % (Duarte, 1990). Las praderas de pastos marinos asentadas en Campeche y el sistema arrecifal de Veracruz están en aguas

relativamente turbias, contrastando con las del Caribe que están aguas muy claras. Esta característica representa una dificultad tanto para su apreciación como para el estudio de sus interacciones ecológicas. No obstante, dada la importancia adquirida como sumideros de carbono y al avance de metodologías con mayor capacidad de análisis y recolección de datos, han favorecido en los últimos años, el surgimiento de diversas metodologías aplicadas para el análisis espacial y de sus interacciones ecológicas.

A nivel nacional, el marco de referencia de los pastos marinos se ha abordado de manera muy dispersa sobre sitios puntuales, y son escasos los trabajos bajo un enfoque regional. En las costas y mares mexicanos, estos ecosistemas tienen una amplia representatividad (Herrera-Silveira *et al.*, 2018), sin embargo, trabajos referentes a su distribución espacial, protección legal, cobertura e importancia económica y ecológica se encuentra de manera puntual y dis-

persa en varias publicaciones. No obstante, diferentes grupos de trabajo han surgido en el país que contribuyen y refuerzan el marco conceptual de los pastos marinos en México. Temas relacionados con fisiología y flujos verticales de CO₂ en pastos marinos por investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABC); Investigadores del Instituto Tecnológico de Sonora liderados por la Doctora Zulia Mayari Sánchez Mejía, realizan actualmente la caracterización de los almacenes y flujos de carbono en regiones bioclimáticas contrastantes; trabajos relacionados con el análisis del paisaje de pastos marinos, almacenes de carbono y ecología de pastos marinos por investigadores de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida (CINVESTAV-Mérida).

Este creciente esfuerzo por parte de grupos de investigadores en México ha resultado insuficiente en temas de línea base; como la estimación de la extensión nacional de pastos marinos y la dinámica

de los servicios ambientales que brindan. Este vacío de información ha contribuido a un aparente abandono del marco legal nacional de los pastos marinos, a pesar de su importancia y su evidente declive a nivel mundial (Larkum *et al.*, 2006). En las últimas décadas, los instrumentos legales necesarios para la protección de este ecosistema son aún incipientes, de cualquier manera, se han logrado resultados importantes dentro de la legislación y protección de este ecosistema. Como parte de la normativa existente para el manejo de humedales costeros en zonas de manglar, los pastos marinos son mencionados dentro de la NOM-022-SEMARNAT-2003 (Diario Oficial de la Federación, 2003), sin embargo, no especifican las estrategias necesarias para su protección y restauración ante un disturbio (López-Calderón y Riosmena-Rodríguez, 2010). No fue hasta 2010, que se publicó de manera oficial en la norma 059-SEMARNAT-2010 (Diario Oficial de la Federación, 2010), la designación de 8 de las 9 especies de pastos marinos bajo alguna categoría de riesgo o de protección ambiental.

Los problemas que enfrenta el tema con indicadores para monitorearlo

Los ecosistemas de pastos marinos son considerados como uno de los más amenazados del planeta (Borum *et al.*, 2004), se estima una tasa de declinación de alrededor del 2 % por año y con marcada aceleración para los últimos años. Las causas del declive de pastos marinos son múltiples, tanto por cambios naturales como por el deterioro ambiental derivado de actividad antropogénica que a menudo son aditivas, lo que origina respuestas en cascada

que puede llegar incluso a la pérdida total de biomasa y reemplazo total de especies por macroalgas y fitoplancton. Dentro de las actividades humanas que repercuten en alguna proporción podemos mencionar cambios en el balance entre la erosión y sedimentación (Halun *et al.*, 2002), el aumento en las concentraciones de contaminantes y pesticidas (Ralph *et al.*, 2006), cambios en la hidrodinámica por la aplicación de ingeniería costera, cambios en

la salinidad por la alteración de los aportes de agua dulce (Martínez-Daranas, 2007), así como los daños mecánicos directos que impactan a la conservación de praderas de pastos (Hamilton, 2000). De igual manera, cambios en la calidad de agua y del sedimento producto de las actividades humanas mencionadas anteriormente trae como consecuencia cambios en los porcentajes de transparencia de la columna de agua, lo que disminuye su capacidad para captar luz solar y compromete su supervivencia.

Este último factor resulta de suma importancia para sitios donde la escorrentía de ríos y lagunas costeras contribuye con el aporte de material terrígeno cuenca abajo. En el contexto nacional, diversos puntos presentan condiciones deletéreas en los porcentajes de transparencia de la columna de agua que aminoran la condición de la pradera; pastos marinos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Ramírez-García *et al.*, 2007); praderas de pastos marinos del golfo de México en la laguna de Términos (Rivera-Arriaga *et al.*, 2003), praderas de la costa de Yucatán (Herrera-Silveira y Morales-Ojeda, 2009; Kantún-Manzano *et al.*, 2018; Herrera-Silveira *et al.*, 2018) y de Quintana Roo, estas últimas por los eventos de arribazones de sargaso (van Tussenbroek *et al.*, 2017) por mencionar ejemplos concretos. Estas continuas amenazas generadas por el aumento del desarrollo urbano sobre zonas costeras (Singh *et al.*, 2001) ha brindado

la oportunidad para la implementación de metodologías enfocadas en la caracterización, diagnóstico y monitoreo de variables indicadoras de la salud de pastos marinos.

Esta estrategia aporta información útil sobre la condición y tendencias de los sistemas naturales y medidas prácticas y cuantitativas de los conceptos relacionados con la salud, integridad y estado de conservación de pastos marinos. Dentro de los indicadores más frecuentemente utilizados en el monitoreo de la salud y condición de pastos marinos (Gómez-López *et al.*, 2014) podemos mencionar la medición de la densidad de haces, Índice de área foliar (IAF), cocientes de la biomasa emergida y sumergida, cambios de cobertura, tamaño, número y extensión de parches enfocados a la evaluación de la estructura de la planta. Respecto a variables ambientales se mide regularmente la transparencia, salinidad, un indicador de la calidad del agua como el Índice de Estado Trófico, y para los sedimentos la textura, nutrientes (CT, NT, PT, NT:PT, CT:NT) e isótopos estables de C y N.

El seguimiento de variables indicadoras de la salud de este ecosistema contribuirá a un mejor entendimiento de los procesos que lo regulan, mantienen o degradan, ya que por su ubicación en ambientes costeros y ecosistemas terminales de las cuencas hidrográficas, dependen en buena medida de factores externos de gran escala.

Lecciones y buenas prácticas sobre el tema

Los conflictos entre la conservación del hábitat de pastos marinos y la ejecución de proyectos de desarrollo de interés público debe estar balanceado, pero por lo general resulta en la pérdida de los pastos marinos, por tal motivo la implementación de pautas y medidas de manejo para el diseño, construcción y operación de los desarrollos costeros tiene como objetivo recuperar dicho balance, que resulte en el mediano y largo plazo en mayores beneficios sociales y económicos.

Los estudios técnico-científicos soportan el diseño, construcción y operación de proyectos, y se requieren para estimar los impactos ambientales en la comunidad de pastos marinos, éstos en su mínima expresión están conformados por la caracterización, diagnóstico, selección de indicadores y monitoreo. En función de ellos se deben

evaluar las acciones susceptibles a planes de mitigación, restauración o compensación (figura 3).

La primera fase consiste en la caracterización ambiental y la identificación de restricciones naturales y/o antropogénicas para las especies de pastos marinos de interés. En esta descripción general del área de influencia de la obra, el objetivo es responder a tres preguntas básicas ¿Que hay?, ¿Cuánto hay? y ¿Donde está? Esta fase involucra la identificación de especies de pastos marinos, cuál es su composición, distribución y extensión, así como el medio ambiente que los rodea: hidrológico (temperatura, salinidad, pH, turbidez, penetración de luz, profundidad, concentración de nutrientes inorgánicos disueltos) y sedimento (contenido de nitrógeno, fósforo y carbono totales). También es deseable generar información

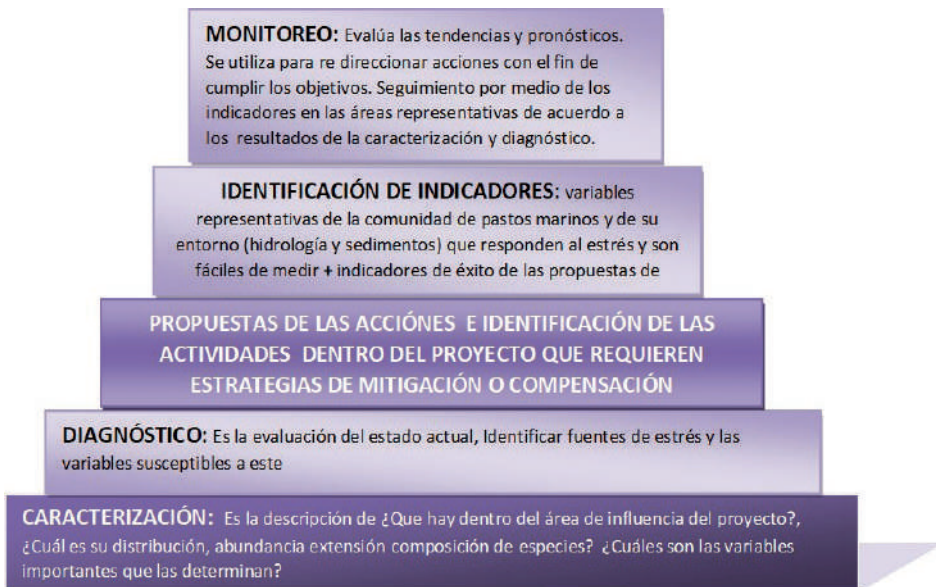


Figura 3. Pirámide con las diferentes acciones a seguir en la elaboración de estudios técnico-científicos para proyectos de desarrollo en la zona costera que afecten la vegetación acuática especialmente pastos marinos (modificada de Morales-Ojeda, 2007).

de algunas características de las poblaciones como altura del dosel, productividad, la presencia de epífitos, largo y ancho de las hojas. En la figura 4 se presentan en fotografías las diferentes actividades realizadas durante la caracterización de la pradera de pastos marinos.

De no ser posible, la caracterización se debe fundamentar en una revisión sistemática preferentemente con literatura reciente que documente dichos estudios en el área. La caracterización debe también capturar la información suficiente para poder identificar el potencial máximo de restauración del área y puede ser usado como una condición de referencia contra el cual hacer una comparación para definir los cambios en mediano y largo plazo, así como direccionar las acciones requeridas (tabla 3).

La fase de diagnóstico es un paso fundamental para determinar las causas y relaciones entre los impactos y los pastos, la fragilidad o la estabilidad de los ecosistemas y por ende la viabilidad de los proyectos a

realizarse en un área determinada. Está dirigido a identificar y evaluar el estatus ambiental e intenta responder a las siguientes preguntas: ¿Cómo está la comunidad de pastos? en términos generales cual es el estado (bueno regular o malo), ¿Cuáles son las fuentes de estrés naturales o antrópicas?, ¿Cuáles son las variables que reaccionan ante tal estrés? (tabla 4). Para lo anterior, identificar variables que puedan utilizarse como indicadores de sitio-específico son un paso fundamental en el proceso de diagnóstico.

Los indicadores de los ecosistemas son descriptores concretos específicos del ecosistema o de sus componentes críticos, que reflejan con el menor esfuerzo sus atributos físicos, químicos o biológicos. Sirven para medir y trazar los impactos futuros y para realizar comparaciones; a través de su rápido análisis se pueden identificar cambios significativos debidos al estrés, los agentes de alteración al ecosistema o sus componentes y el impacto de la actividad huma-



Figura 4. Representación de cada una de las actividades realizadas en campo y laboratorio dentro del proceso de caracterización de biomasa, sedimentos y columna de agua en praderas de pastos marinos.

Tabla 3. Variables sugeridas para analizar en la fase de caracterización.

Pastos marinos	Hidrología	Sedimentos
Composición de especies de vegetación (pastos y algas).	Temperatura.	Textura.
Distribución.	Salinidad.	Tasa de sedimentación.
Abundancia.	Batimetría.	Concentración de nitrógeno total.
-Densidad de brotes.	Turbidez.	Concentración de Fósforo total.
Epífitos en las hojas.	PAR (Luz fotosintéticamente activa)	Concentración de Carbono.
Cobertura.	Luz incidente en el dosel.	Profundidad del sedimento.
Biomasa aérea.	Intensidad y dirección de la corriente.	Textura de sedimentos.
Biomasa subterránea.	Nutrientes inorgánicos disueltos (nitrito, nitrato, amonio, fósforo, urea).	Concentración de materia orgánica.
Contenido de nutrientes en las hojas.	Oxígeno disuelto en el agua.	Ácido sulfhídrico.
Altura del dosel.	Concentración de clorofila- <i>a</i> .	Amonio
Medición de tasa fotosintética.	Drenaje y pendiente de la cuenca	Principales fuentes de carbono ($\delta^{13}\text{C}$)
Hojas por haz.	Hidrodinámica local.	
Longitud máxima de la hoja.		
Ancho máximo de la hoja.		
Área específica de la hoja.		
Índice de área foliar		
Floración		
Daño foliar		

na. En la fase de selección se eligen aquellas variables analizadas que durante la caracterización explican mejor el comportamiento de la comunidad de un área determinada, y pueden ser comparados (tabla 5). Una vez identificados los indicadores estos deben incorporarse en el diagnóstico y en el programa de monitoreo que acompaña a las medidas de mitigación/compensación de los proyectos.

El monitoreo es la observación repetida de un sistema con el objetivo de detectar cambios y cuantificarlos, así como también

identificar las fuentes que lo originan. El primer paso crítico de esta fase es seleccionar el sitio de monitoreo, el cual debe ser representativo de la composición, abundancia de las especies y reflejar el rango de profundidad donde se ubican los pastos. Para obtener muestras que sean replicables, que reflejen la condición natural y reduzcan la variabilidad, es deseable que el sitio elegido esté apartado de fuentes de impacto (antropogénicos o naturales), que sea homogéneo, sin vacíos de vegetación o perturbaciones físicas (corales o canales de nave-

Tabla 4. Identificación de las principales fuentes de impacto en la construcción y mantenimiento de los desarrollos turísticos y sus efectos.

Fuente	Efecto	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Invasivas				
Hoteles y desarrollo inmobiliario	Negativo por descargas residuales.	- Decremento de la calidad del agua. - Aporte y resuspensión de sedimento. - Incremento en la cobertura y tamaño de los PM.	- Eutrofización. - Turbidez. - Epífitos en las hojas de los PM.	- Especies de algas invasoras. - Pérdida de la cobertura de los PM.
	Negativo por remoción de PM por fines estéticos.	- Decremento de la calidad del agua - Resuspensión del sedimento. - Pérdida de fauna marina de importancia económica y recreativa.	- Pérdida de fauna marina de importancia económica y recreativa - Erosión de las playas.	- Decremento en las pesquerías. - Erosión de las playas
	Negativo por incremento de la turbidez por resuspensión de sedimentos finos .	- Decremento en la turbidez.	- Reducción de la cobertura de pastos.	- Pérdida total de cobertura vegetal y fauna asociada.
	Modificación del flujo hidrológico y del paisaje.	- Cambios en las condiciones hidrológicas salinidad y pH.	-Reducción de la cobertura de pastos.	-Pérdida total de cobertura vegetal y fauna asociada.
	Marinas y actividades náuticas	Dragado* y relleno.	- Decremento de la calidad del agua. - Resuspensión de sedimentos. - Pérdida de cobertura de los PM.	- Turbidez. - Pérdida de cobertura de los PM.
Cicatrices por propelas.		- Daños en las hojas y pérdida de cobertura de los PM.	- Pérdida de cobertura de los PM.	- Efecto cascada con especies que necesitan de ellos.
Campos de golf		Negativo por exceso de fertilizantes N y P.	- Decremento de la calidad del agua. - Aporte y resuspensión de sedimento. - Incremento en la cobertura y tamaño de los PM	- Eutrofización. - Turbidez. - Epífitos en las hojas de los PM.

Tabla 4. Identificación de las principales fuentes de impacto en la construcción y mantenimiento de los desarrollos turísticos y sus efectos.

Fuente	Efecto	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Invasivas				
Explotación de bancos de arena	Negativo por daño mecánico ocasionado por dragado.	- Decremento de la calidad del agua. - Resuspensión de sedimentos. - Pérdida de cobertura de los pastos marinos.	- Turbidez. - Pérdida de cobertura de los pastos marinos.	- Pérdida de cobertura de los pastos marinos.
Canales y lagunas artificiales para fines estéticos y funcionales	Dragado y relleno.	- Decremento de la calidad del agua. - Resuspensión de sedimentos. - Pérdida de cobertura de los pastos marinos.	- Turbidez. - Pérdida de cobertura de los pastos marinos.	- Pérdida de cobertura de los pastos marinos.
No invasivas				
Ecoturismo	Cicatrices por propelas.	- Daños en las hojas. - Pérdida de cobertura.	- Pérdida de cobertura.	- Daño a especies que necesitan de los PM.
	Snorkel en praderas de PM.	- Resuspensión del sedimento. - Daño a las hojas de los PM.	- Turbidez. - Pérdida de cobertura de los PM.	
Plantas de tratamiento de aguas residuales		- Aumento en la calidad del agua. - Incremento en la cobertura de los PM.	- Buen estado de salud del ecosistema.	
Suministro de energía	Descargas térmicas.	- Decremento en la calidad del agua. - Incremento en la temperatura.	- Pérdida de cobertura de los PM.	- Daño a especies que necesitan de los PM.
Restauración costera y de manglares	Calidad del paisaje.	- Incremento en la calidad del agua. - Incremento en la cobertura de los PM.	- Decremento de la turbidez. - Buen estado de salud de los PM.	- Ecosistema en buen estado.
*Se considera también el dragado no intencional por propelas en sitios someros				

Tabla 5. Variables indicadoras sugeridas para ser utilizadas en el monitoreo.

Pastos Marinos	
Indicadores de corto plazo Nivel: organismo	Indicadores de largo plazo Nivel: comunidad
<ul style="list-style-type: none"> -Características específicas de haz. -Densidad de shoots. 	<p>Características específicas de Área.</p>
<ul style="list-style-type: none"> -Medición de tasas fotosintéticas: indican el estrés por luz. -Forma del parche: La continuidad o fragmentación del parche permite identificar si la presencia de factores de estrés. -Hojas por haz: indicadores de la edad, regeneración y estabilidad de la comunidad de pastos. 	<p>Composición: indicador de variación hidrológica, estado de eutrofización en la columna de agua. Los cambios en la composición en una región indican problemas en la salud del ecosistema.</p>
<ul style="list-style-type: none"> -Longitud máxima de la hoja: indican respuesta al estrés ambiental o cambios demográficos en la población de pastos marinos. 	<p>Cobertura: puede ser utilizado como indicador en la calidad del agua, eutrofización en la columna de agua y salud del ecosistema.</p>
<ul style="list-style-type: none"> -Ancho máximo de la hoja: indicador de estrés ambiental por la luz. 	<p>Biomasa aérea: indicador de la disposición de nutrientes, recuperación ante nortes, huracanes, etc...</p>
<ul style="list-style-type: none"> -Área específica de la hoja: las variaciones indican respuesta al estrés ambiental o cambios demográficos en la población. 	<p>Biomasa subterránea: indicador de la disponibilidad de nutrientes para los pastos vía sedimento. Estabilidad de los sedimentos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> -Contenido de nutrientes en las hojas: valores altos en los nutrientes indican un posible caso de eutrofización en la zona. 	<p>Relación BA/BS: indicador del intercambio ante la concentración de nutrientes disueltos en el agua y en el sedimento.</p>
	<p>Densidad de haces: Las variaciones indican respuesta al estrés ambiental o cambios demográficos en la población. Recolonización después de algún disturbio natural como huracanes.</p>
	<p>Cobertura de algas verdes filamentosas: indicador de eutrofización en la columna de agua.</p>
Corto.-mediano plazo	
Hidrología	Sedimentos
<ul style="list-style-type: none"> - Salinidad: Indicador de la mezcla de masas de agua y del aporte de aguas freáticas y de tanque sépticos. - Nitrito: indicador de contaminación por materia orgánica. - Nitrito: descriptor de la influencia de descargas de aguas subterráneas. - Amonio: descriptor de la influencia de aguas residuales. - Fosfato: descriptor de la influencia de aguas residuales y o de agroquímicos. - Oxígeno disuelto: indicador de síntomas de la eutrofización. - Clorofila-<i>a</i>: Provee una medida de la biomasa de fitoplancton utilizada como medida de calidad del agua. Los altos niveles de esta representan florecimientos algales de 12 a 300 mg., se consideran altos. - Turbidez: en el agua al menos. - Luz incidente: indicador del potencial de afectación a los pastos. Debe estar entre 10-20 % la sobre exposición y la falta de luz tienen efectos en la productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración de nitrógeno. - Concentración de fósforo. - Concentración de carbono. - Textura de sedimentos: Indicador de la hidrodinámica local y concentraciones de materia orgánica. - Longitud de sedimento: Su incremento es indicador de acumulación de sedimentos. - Concentración de nitrógeno: Indicador de descomposición de materia orgánica y fuentes de nutrientes. - Concentración de fósforo: Indicador de productividad y eutrofización progresiva. - Concentración de carbono. Indicador de productividad y descomposición de materia orgánica y fuentes de nutrientes. - Principales fuentes de carbono ($\delta^{13}C$).

gación), lo cual permitirá que los cambios a mediano y largo plazo sean fácilmente detectados.

El nivel de cambio y la precisión en la detección dependerá de los métodos utilizados. En el caso de los pastos marinos la frecuencia del monitoreo se establece en 3 ó 4 veces al año en los primeros 5 años, o puede ser anual desde el inicio del programa. Los autores recomiendan para el golfo de México y el Caribe el periodo de junio a agosto para el monitoreo de pastos marinos, ya que las condiciones ambientales son favorables tanto para que en este periodo alcancen su máximo crecimiento como por que las condiciones ambientales (poco viento, escaso oleaje, alta transparencia) son favorables para la realización de las campañas de campo.

Las variables que suelen ser monitoreadas son: alguna medida de la abundancia, composición de especies, biomasa, área total o porcentaje de cobertura. A nivel de especie se determinan los parámetros de crecimiento de los pastos (tasas de crecimiento, contenido de C:N:P en las hojas y composición de carbohidratos) son útiles para obtener información sobre las causas y los mecanismos que determinan su abundancia. A nivel de las praderas de pastos se utiliza la composición de especies, la estimación de biomasa y el porcentaje de cobertura. Los parámetros ambientales que suelen considerarse en el monitoreo de pastos marinos son: profundidad, salinidad, temperatura, concentración de nutrientes en el agua y sedimento, turbidez o luz incidente.

Contar con un sitio de referencia es recomendable (de las mismas características donde se ejecutará el proyecto, pero sin las fuentes de impacto), de esta forma se pueden evaluar no solo cualitativa sino cuantitativamente los impactos y la efectividad

de las medidas de mitigación y/o compensación.

La mitigación usualmente procede cuando el agente causal de pérdida y los responsables son conocidos, y se refiere a un conjunto de medidas y obras de intervención dirigidas a reducir a un nivel aceptable o atenuar el riesgo de un impacto negativo al ecosistema de pastos marinos y/o sus componentes esenciales, teniendo en cuenta que dicho riesgo es imposible de reducir totalmente. En el caso de los pastos marinos pueden consistir en evitar acciones para prevenir la afectación negativa en ellos, tales como educación a los usuarios sobre la importancia de los pastos marinos, restricción del área donde se permiten embarcaciones motorizadas, implementación de plantas de tratamiento, mejora de la calidad del agua (turbidez, nutrientes). Cuando se refiere al dragado de playas es necesario considerar la instalación de estanques de sedimentación, de vertederos, de pantallas de contención de basura y sedimentos, en el relleno es importante el tamaño del grano que se utilizará.

La compensación asume que el ecosistema puede ser llevado a un orden y en esencia, puede haber cambios en un hábitat funcional con la propuesta de un remplazo de éste. La restauración y rehabilitación constituyen parte de la mitigación compensatoria (o simplemente compensación), que es una forma de rectificar el impacto negativo de las obras antropogénicas en el ecosistema afectado, ya sea dentro del área influenciada por dicha obra o bien proveer recursos sustitutos.

La restauración es el regreso de una condición perturbada o totalmente alterada a la condición preexistente o al menos la creación o mejoramiento de algo funcionalmente equivalente. Las acciones de

restauración deben ser planeadas meticulosamente y ejecutadas profesionalmente para asegurar el éxito. Como ejemplo de mitigación compensatoria están los trasplantes previos a las obras con verificación de supervivencia, repoblación de las áreas afectadas y rehabilitación de las condiciones hidrológicas.

La clave en los lineamientos para la planeación de la restauración incluyen: 1) la identificación de los objetivos del proyecto respecto a la cobertura de pastos; 2) la composición de especies y función ecológica de las praderas de pastos restauradas; 3) coordinación de los permisos que permitan reducir retardos en la revisión y aprobación; 3) conservación de la diversidad genética (escoger un grupo para el trasplante de una variedad de pastos ampliamente distribui-

da); 4) estudio y selección del sitio para asegurar que las condiciones ambientales existentes favorecerán la restauración de los pastos (Fonseca *et al.*, 1998; Short y Burdick, 2005).

Es importante que en este tipo de acciones se tome en cuenta que algunas especies como *Halodule wrightii* son especies pioneras, y que deben ser plantadas como estabilizadoras del hábitat antes de trasplantar otras especies como *Thalassia testudinum*, especie de amplia distribución que tiene lenta dispersión, y cuya recuperación por daño físico es extremadamente lenta (Durako *et al.*, 1992; Fonseca *et al.*, 1987, 1992, 1998).

Las recomendaciones para la construcción y operación de desarrollos turísticos se presentan en la tabla 6.

Conclusiones y recomendaciones

Al igual que los ecosistemas de manglar y arrecifes de coral, las praderas de pastos marinos tienen un alto grado de conectividad con ecosistemas vecinos a través de procesos físicos, químicos y biológicos, por lo que cualquier estrategia de manejo debe ser bajo una concepción amplia del ecosistema.

Los cambios en el crecimiento de los pastos suelen estar asociados con ciclos climatológicos naturales, no obstante, la manipulación humana de la hidrología es responsable de las reducciones masivas de los pastos. Los epicentros de la pérdida de pastos marinos están en áreas adyacentes a desarrollos costeros.

En la actualidad las actividades relacionadas al turismo son el principal detonante

en la degradación del ambiente. Sin embargo, si es manejado adecuadamente, puede ser una de las soluciones y al mismo tiempo contribuir con el desarrollo económico y social.

Las mayores pérdidas se atribuyen al incremento de la turbidez del agua ocasionados principalmente por el dragado para mantener los canales de navegación, así como por plumas de turbidez e incremento de nutrientes provenientes de hotelería y desarrollo urbano. Los cortes realizados por propelas y embarcaciones motorizadas últimamente han sido un factor importante en la reducción de las praderas de pastos marinos.

La recuperación natural de los pastos puede ser muy lenta por ejemplo en *T. tes-*

Tabla 6. Recomendaciones para los proyectos de construcción en zonas costeras.

Actividad (presión)	Efectos	Recomendaciones
Desarrollo inmobiliario	Corto-Mediano -Largo plazo	<p>Planeación de un sistema de drenaje y tratamiento de aguas, tomando en cuenta la topografía y drenaje natural durante lluvias y tormentas ya que las aguas contienen aceites automotores, basura etc.</p> <p>Considerar el efecto térmico en las aguas costeras de plantas para el suministro de electricidad.</p> <p>Se preferirán carreteras piloteadas para evitar la interrupción del flujo hidrológico de las aguas costeras y la incomunicación de los poblados en caso tormentas y huracanes.</p> <p>Utilizar trampas de sedimento, barreras físicas y lavar en tierra las piezas para la construcción y restauración de carreteras con el fin de evitar el desprendimiento de partículas finas que afecten a la turbidez.</p> <p>Evitar los rellenos en las aguas costeras, ya que pueden cambiar el patrón de circulación.</p> <p>La planeación debe tomar en cuenta las características de la zona para evitar la construcción de futuras estructuras de protección.</p> <p>Estudios de caracterización de los componentes bióticos y abióticos previo a las obras, monitoreo durante y anual posteriores a la construcción.</p> <p>Evitar remoción de plantas acuáticas con fines estéticos.</p> <p>Estudios técnico-científicos de los componentes bióticos y abióticos previo a las obras, monitoreo durante la construcción.</p> <p>Al restaurar espigones para el relleno artificial de playas utilizar trampas de sedimento, trasplantar los pastos marinos y asegurar su supervivencia.</p> <p>Los bancos de materiales para construcción, remodelación o mantenimiento deben estar cubiertos para evitar el transporte a las aguas costeras de material fino.</p>
Marinas construcción	Corto-Mediano -Largo plazo	<p>Dragado de los canales de navegación tan lejos como sea posible de las camas de pastos más importantes.</p> <p>Utilizar trampas de sedimento en el dragado, así como trasplantar la vegetación acuática y asegurar la supervivencia.</p> <p>Evitar la interrupción de flujos y características hidrológicas por la construcción, relleno o dragado. Especialmente en áreas con baja precipitación y baja escorrentía de agua dulce ya que el bloqueo del intercambio entre las aguas puede resultar en salinidad elevada.</p> <p>Estudios técnico-científicos de los componentes bióticos y abióticos previo a las obras, caracterización y diagnóstico.</p> <p>Los bancos de materiales para la construcción remodelación o mantenimiento deben estar cubiertos para evitar el transporte a las aguas costeras de material fino.</p>

Tabla 6. Recomendaciones para los proyectos de construcción en zonas costeras.

Actividad (presión)	Efectos	Recomendaciones
Marinas operación	Mediano-Largo plazo	<p>Especificar el número de embarcaciones y tamaños máximas que se permiten.</p> <p>Minimizar los efectos del anclaje con el uso de bollas de anclaje.</p> <p>Instalar marcadores para ayudar a identificar el canal de navegación establecer límites de velocidad.</p> <p>Monitoreo y diagnóstico anual biológico e hidrológico en la época de mayor actividad.</p> <p>Educar a los usuarios sobre los impactos que tienen las cicatrices de las embarcaciones motorizadas en los pastos marinos especialmente en <i>T. tesudinum</i>.</p> <p>Establecer zonas restringidas a las embarcaciones motorizadas donde las camas de pastos sean extremadamente someras.</p> <p>Respetar las leyes federales que hagan referencias a las cicatrices por propelas y causadas por dragado de propulsión.</p> <p>Los bancos de materiales utilizados para remodelación y mantenimiento deben estar cubiertos para evitar el transporte a las aguas costeras de material fino.</p>
Muelles construcción	Largo plazo	<p>Estudio técnico-científico de caracterización y diagnóstico de los componentes biológico, hidrológico y sedimentos.</p> <p>No se recomiendan muelles privados flotantes.</p> <p>Se recomienda la construcción de muelles de orientación norte-sur.</p> <p>Se recomienda utilizar diseños que permitan el paso de la luz y flujo de agua.</p> <p>Estudios de caracterización de los componentes bióticos y abióticos previo a las obras, monitoreo durante la construcción.</p> <p>En la construcción y dragado evitar la dispersión de materiales finos con trampas de sedimento.</p> <p>Los bancos de materiales para construcción, mantenimiento o remodelación deben estar cubiertos para evitar el transporte a las aguas costeras de material fino.</p>
Hoteles construcción	Corto –Mediano-Largo plazo	<p>Estudio técnico-científico de caracterización y diagnóstico de los componentes biológico, hidrológico y sedimentos.</p> <p>Estudios topográficos ya que si se modifica el drenaje natural se debe realizar un sistema de recolección y tratamiento para las aguas.</p> <p>Tanto en la construcción como el dragado evitar la dispersión de materiales finos con trampas de sedimento.</p> <p>Los bancos de materiales para construcción, mantenimiento o remodelación deben estar cubiertos para evitar el transporte a las aguas costeras de material fino.</p> <p>Al construir espigones para el relleno artificial de playas utilizar trampas de sedimento, trasplantar los pastos marinos y asegurar su supervivencia.</p>

Tabla 6. Recomendaciones para los proyectos de construcción en zonas costeras.

Actividad (presión)	Efectos	Recomendaciones
Hoteles operación.	Corto-Mediano plazo	Se recomienda un apropiado tratamiento de aguas residuales. Regulación para disposición de aguas residuales, creación de plantas de tratamiento. En los campos de golf y para fumigación sustitución de componentes peligrosos pesticidas por alternativas amigables con el ambiente.
Construcción de estructuras de protección para playas	Corto – Mediano plazo	Asegurar el flujo natural de lagunas costeras y/ol agua con el mar y/o fuentes de agua interiores. Estudios de caracterización de los componentes bióticos y abióticos previo a las obras, monitoreo durante y cada 6 meses posteriores a la construcción. Los bancos de materiales para construcción, remodelación o mantenimiento deben estar cubiertos para evitar el transporte a las aguas costeras de material fino.
Cambios de temperatura y Salinidad por diques, compuertas para control de inundación	Corto – Mediano plazo	Asegurar el flujo natural de lagunas costeras y/o agua con el mar y/o fuentes de agua interiores.
Cambios de temperatura y Salinidad por industrias y plantas eléctricas		Se recomienda que los drenajes de aguas industriales limpias con altas salinidades provenientes de plantas de desalinización o aguas más frías o calientes respecto al medio no se ubiquen en aguas someras con pastos sino en aguas profundas con mayor capacidad de dilución debido a las corrientes.
Pesticidas, hidrocarburos poliaromáticos, derrame de aceite o agentes anti incrustantes por Hoteles Urbano Embarcaciones	Corto-mediano plazo	Se recomienda un apropiado tratamiento de aguas residuales. Regulación para disposición de aguas residuales. Sustitución de componentes peligrosos pesticidas por alternativas amigables con el ambiente.

tudinum puede ser entre 2-8 años, por lo que se requiere preservar el ecosistema a través de medidas de mitigación y compensación que en ocasiones resultan costosas y deben ser ejecutadas por personal calificado.

Los siguientes años serán cruciales para los pastos marinos de las costas Mexicanas conforme se incrementa la población. Los planes de manejo, educación y acciones de las agencias federales, estatales y locales, así como el esfuerzo coordinado de los ciudadanos a nivel local, serán herramientas indispensables para la conservación y recu-

peración de los servicios ambientales que brindan los pastos marinos.

Con este trabajo se intenta generar nuevas oportunidades de difusión de las actividades pertinentes para la conservación y valoración de este importante recurso, pero aún se requiere de guías especializadas que traten con profundidad las implicaciones biológicas, económicas y sociales de los impactos, así como también serán necesarias adecuaciones a la normatividad para asegurar el equilibrio entre ambiente y demanda social.

Literatura citada

- Alongi, D. M., 1998. Coastal ecosystem processes. CRC Marine Science Series, 3. CRC Press: Boca Raton. ISBN 0-8493-8426-5. 419 p.
- Borum, J., C.M. Duarte, D. Krause-Jensen, y T.M. Greve., 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. EU project monitoring and managing of European seagrasses. 95 p.
- Bricker S. B., C. G. Clement, D. E. Pirhalla, S. Orlando, y D. R. G. Farrow, 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment. Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and National Centers for Coastal Ocean Science, Silver Spring. http://www.sponos.noaa.gov/projects/cads/nees/Eutro_Report.pdf.
- Cambridge, M. L., y A. J. McComb, 1984. The loss of seagrasses in Cockburn Sound, Western Australia, 1: The time course and magnitude of seagrass decline in relation to industrial development. *Aquatic Botany*, 20:229–243.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'neill, y J. Paruelo, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Diario Oficial de la Federación., 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.
- Diario Oficial de la Federación., 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, que establece las especificaciones para la protección ambiental y de Especies nativas de México de flora y fauna silvestres, Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio de Lista de especies en riesgo.
- Duarte, C. M., 1990. Seagrass nutrient content. *Marine Ecology Progress Series*, 6: 201–207.
- Duarte, C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environmental conservation*, 29:192–206.
- Duarte, C. M., y C. L. Chiscano, 1999. Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany*, 65:159–174.
- Durako, M. J., M. O. Hall, F. Sargent, y S. Peck, 1992. Propeller scars in seagrass beds: An assessment and experimental study of recolonization in Weedon Island State Preserve. Florida. p. 139-155. In: Webb, F.J., Jr. (Ed.), C.J. Dawes et al. /Aquatic Botany 59 (1997) Proceedings of the Nineteenth Annual Conference on Wetlands Restoration and Creation. Hillsborough Comm. Coll., Plant City, FL, pp. 42-53.
- Estévez, E. D., 2000. Matching salinity metrics to estuarine seagrasses for freshwater inflow management, p. 295–308. In S. Bortone (ed.), Seagrasses: Monitoring, Ecology, Physiology and Management. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Fonseca, M. S., W. J. Kenworthy, y G. W. Thayer, 1987. Transplanting of the seagrasses *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, and *Thalassia testudinum* for sediment stabilization and habitat development in the southeast region of the United States. Technical Report EL-87-8, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Fonseca, M. S., 1992. A preliminary evaluation of wave attenuation by four species of seagrass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 35: 565–576.
- Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy, y G.W. Thayer, 1998. Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 12. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, Maryland.
- Gómez-López, D. I., S. M. Navarrete-Ramírez, R. Navas-Camacho, C. M. Díaz-Sánchez, L. Muñoz-Escobar, y E. Galeano. 2014. Protocolo Indicador Condición Tendencia Praderas de Pastos Marinos (ICTPM). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 68, Santa Marta. 36 p.
- Green, E. P., y F. T. Short, 2003. World atlas of seagrasses. University of California Press. Berkeley, USA. 298 p.
- Greve, T.M., y T. Binzer, 2004. Which factors regulate seagrass growth and distribution. European seagrasses: an introduction to monitoring and management:19-23.
- Hamilton, A. N., Jr., 2000. Gear Impacts on Essential Fish Habitat in the Southeastern Region. Pascagoula, Mississippi: National Marine Fisheries Service, Southeast Fisheries Science Center, Mississippi Laboratories, Pascagoula Facility. 43p.

- Halun, Z., J. Terrados, J. Borum, L. Kamp-Nielsen, C. M. Duarte, y M. D. Fortes, 2002. Experimental evaluation of the effects of siltation-derived changes in sediment conditions on the Philippine seagrass *Cymodocea rotundata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 279: 73-87.
- Herrera-Silveira, J.A., y S. M. Morales-Ojeda, 2009. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. *Marine Pollution Bulletin*, 59:1-3. 72-86 p.
- Herrera-Silveira J. A., J. A. Mendoza-Martínez, S. M. Morales-Ojeda, A. Camacho-Rico, I. Medina-Gómez, J. Ramírez-Ramírez, M. López-Herrera, E. Y. Pech-Poot, O. Pérez-Martínez, M. Pech-Cárdenas, T. Cota-Lucero, y C. Teutli-Hernández., 2018. Base de Datos de Almacenes de Carbono en los Pastos Marinos de México. *Elementos para Políticas Públicas*, 2(1): 1-8.
- Herrera-Silveira, J.A., J. E. Mendoza-Martínez., S. M. Morales-Ojeda, R. Iturria-Dawn, J. Ramírez-Ramírez, I. Osorio-Moreno, T. A. García, S. Ramírez, E. Pech, y B. Palafox. 2018. Evaluación y monitoreo de los pastos marinos en el contexto del proyecto de ampliación del Puerto de Veracruz-Fase I. API-GI-CS-62601-066-17. Programa Mexicano del Carbono-CINVESTAV-IPN Unidad Mérida.
- Hemminga, M. A., y C. M. Duarte, 2000. Seagrass ecology. Cambridge University Press. 298 p.
- Hoegh-Guldberg, O., y J. F. Bruno, 2010. The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. *Science*, 328: 1523-1528. <https://doi.org/10.1126/science.1189930>
- Kantún-Manzano, C. A., J. A. Herrera-Silveira y F. Arcega-Cabrera, 2018. Influence of Coastal Submarine Groundwater Discharges on Seagrass Communities in a Subtropical Karstic Environment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100 :1, 176-183.
- Larkum, A. W., E. A. Drew y P. J. Ralph, 2006. Photosynthesis and metabolism in seagrasses at the cellular level. In *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht pp. 323-345.
- Larkum, A., R. J. Orth y C. Duarte, 2006. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Netherlands: Springer. (676) ISBN 978-1-4020-2942-4. pp. 323-345.
- Lipkin, Y., 1979. Quantitative aspects of seagrass communities, particularly of those dominated by *Halophila stipulacea*, in Sinai (Northern Red Sea). *Aquatic Botany*, 7:119-128.
- López-Calderón, J., y R. Riosmena-Rodríguez, 2010. Pastos marinos en Laguna San Ignacio, Baja California Sur: un ecosistema desatendido. *CONABIO. Biodiversitas*, 93: 7-10.
- Marbá, N., C. M. Duarte, A. Alexandra y S. Cabaco, 2004. How do seagrasses grow and spread. In: *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. pp. 11. Chapter: 3. Publisher: The M&M project, www.seagrasses.org. Editors: Borum J, C. M. Duarte, D. Krause-Jensen, T. M. Greve
- Martínez-Daranas, B. R., 2007. Características y estado de conservación de los pastos marinos en áreas de interés del Archipiélago Sabana Camagüey, Cuba. Tesis Doctoral. Universidad de la Habana, Cuba.
- Morales-Ojeda, S. M., 2007. Diagnóstico de las aguas costeras de Yucatán basado en las características hidrológicas y del fitoplancton. Tesis de Maestría, Biología Marina, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, México.
- Phillips, R. C., y E.G. Meñez, 1988. *Seagrasses: Washington, D. C., Smithsonian Institution Press, Smithsonian Contributions to the Marine Science series*, 34:104.
- Quammen, M. L., y C. P. Onuf, 1993. Laguna Madre: seagrass changes continue decades after salinity reduction. *Estuaries*, 16:302-310.
- Ralph, P. J., D. A. Tomasko, K. Moore, S. Seddon, y M. O. Macinnis-Ng, 2006. Human impacts on seagrass: Eutrophication, sedimentation and contamination. p 567-593. In A. W. D. Larkum, R. J. Orth & C. M. Duarte (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Ramírez-García, J.P., M. J. Terrados, O. Hernández, K. Pedraza, y A. Quiroz. 2007. La vegetación de *Thalassia testudinum* en los arrecifes de Hornos, Sacrificios y Enmedio: Biomasa, productividad y dinámica de crecimiento, p. 163-174. In: A. Granados Barba, L. Abarca-Arenas y J.M. Vargas Hernández (Eds.) *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche. ISBN 968-5722-53-6
- Rivera-Arriaga, E., A. L. Lara-Domínguez, G. Villalobos-Zapata y A. Yáñez-Arancibia, 2003. Trophodynamic ecology of two critical hab-

- itats (seagrasses and mangroves) in Términos Lagoon, southern Gulf of Mexico. *Ecología trofodinámica de dos hábitats. Fisheries Centre Research Reports*, 11(6): 245 p.
- Romero, J., K.S. Lee, M. Perez, M.A. Mateo, y T. Alcoverro, 2006. Nutrient dynamics in seagrass ecosystems. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*:227–254.
- Romeo M, M. Gnassia-Barelli, y T. Juheland A. Meinesz, 1995. Memorization of heavy metals by scales of the seagrass *Posidonia oceanica*, collected in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 120: 211-218.
- Schlacher-Hoenlinger, M. y T. Schlacher, 1988. Accumulation, contamination, and seasonal variability of trace metals in the coastal zone – patterns in a seagrass meadow from the Mediterranean. *Marine Biology*, 131(3): 401-410 p. <https://doi.org/10.1007/s002270050333>
- Short, F. T., y S. Wyllie-Echeverria, 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation*, 23:17-27.
- Short, F. T., y D. M. Burdick, 2005. Eelgrass restoration site selection model. CD-ROM and manual. CICEET, University of New Hampshire, Durham, NH.
- Singh, A., H. Shi, A. Fosnight, y M. A. Ernste, 2001. How Crowded is the Global Coastal Zone. p. 8-11. In: Proceedings of 2 Biennial GeoTools Conference, Charleston, SC. Enero.
- Spaulding, M., M. Taylor, C. Ravilious, F. Short, y E. Green, 2003. Global overview: the distribution and status of seagrasses. *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press, Berkeley, USA. 526 p.
- Terrados J y J. Borum, 2004. Why are seagrasses important? - Goods and services provided by seagrass meadows. En: Borum J, C. M. Duarte, D. Krause-Jensen & T. Greve (eds). *European seagrasses: An introduction to monitoring and management*, 8-10 p. The M&MS Project, Copenhagen.
- van Tussenbroek B. I., H. A. Hernández-Arana, R. E. Rodríguez-Martínez, J. Espinoza-Avalos, H. M. Canizales-Flores, C. E. González-Godoy, M. G. Barba-Santos, A. Vega-Zepeda, y L. Collado-Vides, 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122: 272–281.
- Ward T. J., 1989. The accumulation and effects of metals in seagrass habitats. In: Larkum A. W. D., A. J. McComb and S.A. Shepherd (eds) *Biology of seagrasses*. Elsevier, Amsterdam, 797-820 p.

El sargazo en el Caribe mexicano, revisión de una historia impensable

*A. Uribe-Martínez, A. Guzmán-Ramírez,
F. Arreguín-Sánchez y E. Cuevas*

Resumen

Las arribazones anómalas de sargazo a costas del Atlántico se han convertido en poco tiempo en un problema ambiental y socioeconómico, con causas multifactoriales del que todavía se tiene un sinnúmero de preguntas sin responder. Este capítulo ofrece una revisión general del tema, con una descripción global de lo que es el sargazo pelágico, sus especies, hábitat y ecosistema natural, así como las posibles causas de su transformación en una especie silvestre que se ha tornado perjudicial en grandes acumulaciones en zonas costeras sensibles. Se incluye una hipótesis de la asociación que existe entre el crecimiento y dispersión anómalos del sargazo y los fenómenos atmosféricos interdecadales. Posteriormente, se ofrece una revisión de la detección satelital imprescindible para el monitoreo del problema y una primera aproximación a indicadores de los impactos potenciales en las áreas ecológicamente sensibles de las costas en el Caribe mexicano. Finalmente, se reseña la corta historia del problema

en México y los pormenores que se han suscitado para gestar un plan de manejo y contención que integre a todos los sectores de la sociedad. Se reconoce que hasta el momento no se ha logrado amalgamar el conocimiento de los grupos con experiencia en el tema y se recomienda a los tomadores de decisiones gestar un verdadero esquema de monitoreo continuo y, de forma imprescindible, invertir en investigación para la predicción, prevención, manejo y disposición final adecuados de las arribazones masivas de sargazo.

Palabras Clave: florecimientos algales, manejo costero, monitoreo marino, *Sargassum fluitans*, *S. natans*.

El sargazo pelágico

De forma general, el sargazo pertenece al grupo de algas cafés o pardas (Phaeophyta) que habitan en los mares de todo el mundo. El subgrupo de sargazo pelágico, es decir, el que flota de manera libre en el océano, se compone de dos especies: *Sargassum natans* y *S. fluitans*, siendo el primero el más abundante en las aguas del Atlántico (figura 1). Estas especies pertenecen a la División Phaeophyta, son típicamente de color café pálido-amarillento de 20 a 80 cm de diámetro y se configuran a partir de un tallo ramificado de follaje abundante con filoides acerrados y numerosos nemato-

cistos de menos de 1 cm de diámetro. Los nematocistos son vesículas pequeñas que funcionan como flotadores ya que están rellenos de gas, presumiblemente compuesto de oxígeno y pequeñas cantidades de nitrógeno (SAFMC, 2002).

La reproducción de las dos especies de sargazo es por fragmentación vegetativa y, debido a que sus requerimientos de nitrógeno y fósforo son mínimos, encuentra oportunidades de crecimiento en aguas ligeramente enriquecidas como zonas frontales o plumas de ríos. Experimentalmente se ha observado que su crecimiento óptimo



Figura 1. a) *S. fluitans* (Foto de Brinker, 2018) y b) *S. natans* (Foto de Behrens, 2013).

sucede a temperaturas entre 24° y 30° C y con salinidades de 36 y hasta 42 partes por mil. Bajo condiciones óptimas de luz, temperatura y salinidad, el sargazo puede duplicar su masa hasta en 10 días, particularmente si se trata de *S. fluitans* (Hanisak y Samuel, 1987).

Se configura en conglomerados de una amplia gama de tamaños y formas que obedecen de manera caprichosa a las corrientes, al viento superficial marino y al sistema de adhesión con el que cuenta en sus hojas. En el océano se puede observar una amplísima variedad de formas y tamaños (Casazza y Ross, 2008; Marmorino *et al.*, 2011), casi tan diverso como las nubes, pues de forma análoga el sargazo responde a fenómenos de la circulación marina, como las nubes responden a los efectos de la circulación atmosférica. El sargazo se puede ver flotando en mar abierto en parches desde 15 cm hasta varias decenas de kilómetros.

Las laminillas de Langmuir, zonas de convergencia a lo largo de frentes, ondas internas y otros efectos de la circulación superficial aglomeran a estas algas para formar mantos alargados o bien las dispersan en pequeños parches. Cuando estas líneas son atrapadas por remolinos o giros de mesoescala dibujan caprichosas espirales,

o se pueden presentar con forma de gotas (figura 2). De hecho, se ha observado que cuando la velocidad de hundimiento en una zona de convergencia es de más de 4.5 cm/s, las algas son transportadas hacia la zona profunda donde después de un corto periodo mueren y potencialmente sirven de alimento a especies demersales (Johnson y Richardson, 1977; Huffard *et al.*, 2014).

El sargazo pelágico circula a lo largo de la zona semi templada y tropical del Atlántico, incluyendo el mar Caribe y el golfo de México y particularmente en una porción conocida como el mar de los Sargazos (figura 3). Se considera que el golfo de México es la fuente dominante de sargazo hacia el Atlántico, transportado por la corriente de Lazo y posteriormente introducido a la corriente del Golfo, hacia el norte de cabo Hatteras, y es dispersado al este por los vientos predominantes del verano (Gower y King, 2011). A pesar de que se ha hipotetizado que el flujo del sargazo en el océano presenta patrones estacionales, la recurrencia del sargazo en diferentes sitios varía ampliamente (Gower y King, 2011; Wang y Hu, 2016), pues existe una gran variación interanual en su cobertura y alcance, sobre todo si se consideran los eventos de arribo anómalo.

Un ecosistema oceánico

El sargazo de manera natural se agrupa en formaciones que se conocen en español como balsas o mantos de sargazo. En estos conglomerados, sin importar mucho su tamaño, forma o composición de especies, se pueden encontrar decenas de especies de peces en fases desde larval hasta adultos

(Stoner y Greening, 1984), crías y pequeños juveniles de tortugas marinas de varias especies (Witherington *et al.*, 2012), cientos de especies de invertebrados y crustáceos, algas, larvas de diversas especies, etc. (Wells y Rooker, 2004; Huffard *et al.*, 2014). Estos habitantes encuentran en estas balsas

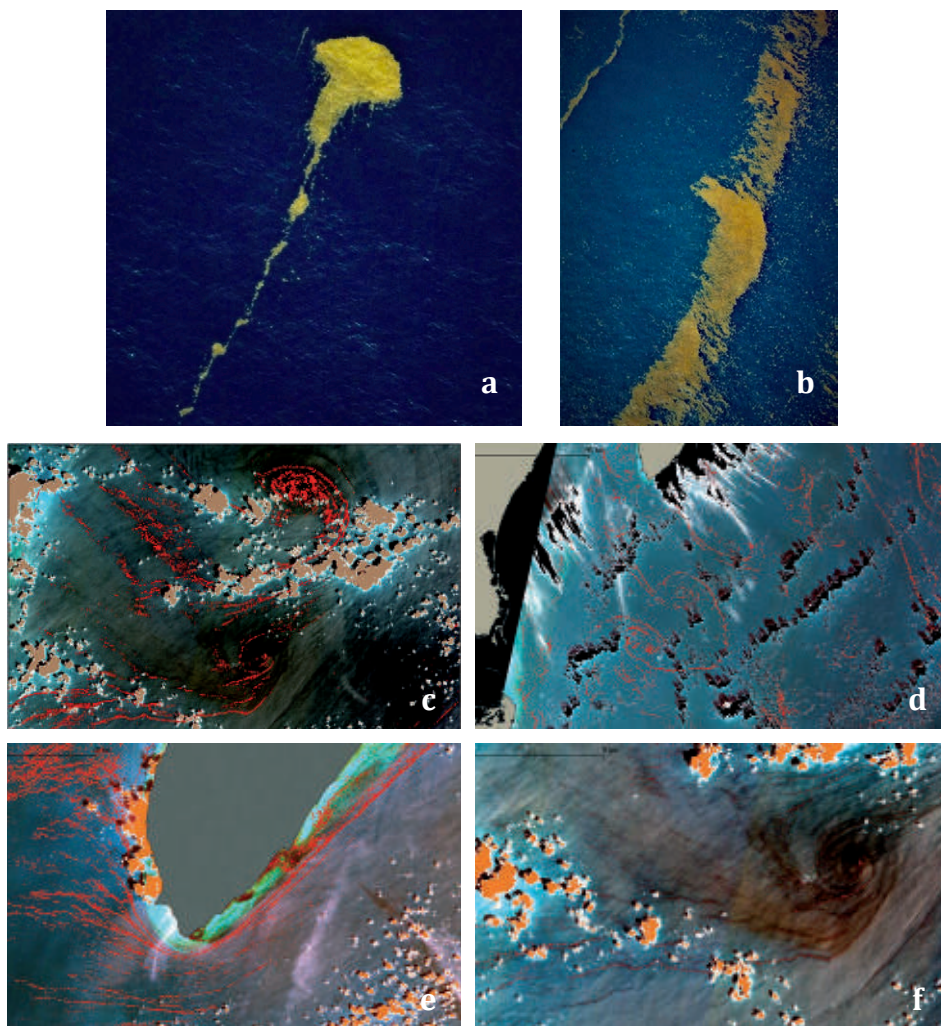


Figura 2. Algunos ejemplos de las formas que puede tomar una balsa de sargazo. Fotografías aéreas tomadas el 13 de junio de 2018 en las costas de Quintana Roo (a y b). Sargazo detectado en imágenes derivadas del sensor Landsat 8-OLI del 15 de septiembre de 2018 (c y d) y del 21 de enero del 2019 (e y f).

una acumulación de alimento, sombra y refugio en el mar, como un oasis en el desierto. Los que habitan ahí consumen una buena parte de las algas asociadas al sargazo y que a su vez se volvieron especialistas en aprovechar los escasos nutrientes disponibles (Carpenter y Cox, 1974; Rooker *et al.*, 2006). Varias de estas especies que utilizan el sargazo en alguna etapa de su desarrollo, están en alguna categoría de protección por

sus poblaciones diezmadas (Laffoley *et al.*, 2011).

El sargazo ha sido designado como un “hábitat esencial para los peces” (SAFMC, 2002), ya que la gran mayoría de los que se han encontrado en las balsas presentan tallas de juveniles, lo que manifiesta la importancia del sargazo como zona de crianza y desarrollo de especies de interés ecológico y comercial (Casazza y Ross,

2008; Luckhurst 2015). De hecho, existen al menos 10 especies de invertebrados y 2 de vertebrados que son endémicos del sargazo, como el pez sargazo (*Histrio histrio*),

el camarón sargazo (*Latreutes fucorum*) y el nudibranquio sargazo (*Scyllaea pelagica*) (figura 4) (SAFMC, 2002).

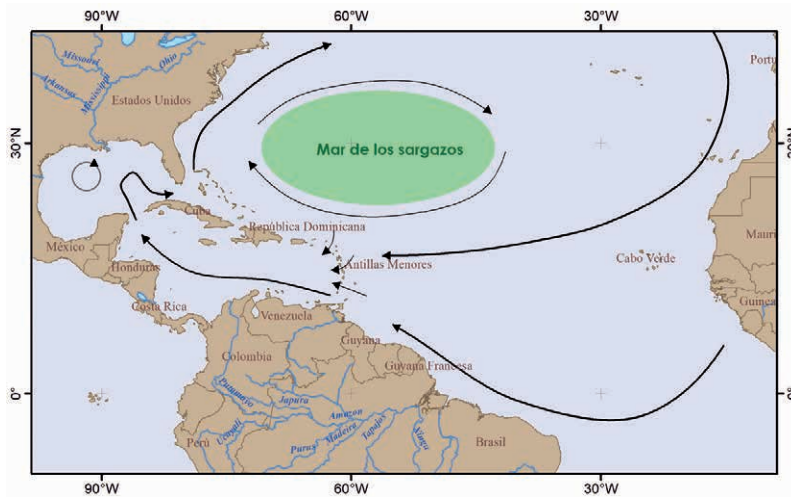


Figura 3. Esquema de la circulación predominante del océano Atlántico.

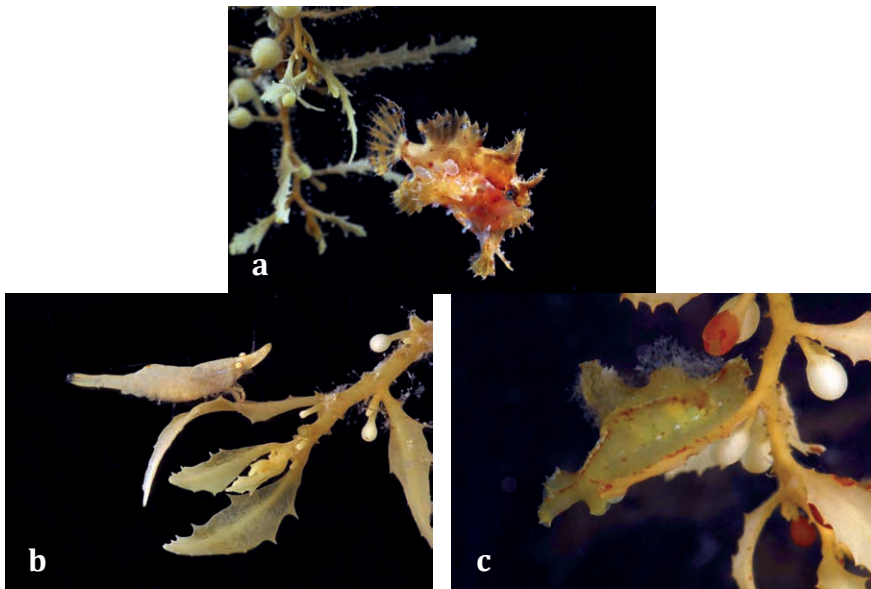


Figura 4. Especies endémicas del sargazo. a) el pez sargazo (*Histrio histrio*), b) el camarón sargazo (*Latreutes fucorum*) y c) el nudibranquio sargazo (*Scyllaea pelagica*). Todas las fotografías pertenecen a McKeon (2012).

Se ha manejado que las balsas de sargazo funcionan para las tortugas marinas como refugio y crianza durante lo que se conoce como “los años perdidos de las tortugas”, pues se infiere que después del periodo de nado frenesial, éstas son transportadas por las corrientes marinas y eventualmente alcanzan mantos de sargazo que les sirve de hábitat durante varios años. Las crías hacen un uso activo de la comunidad asociada a esas balsas, pues consumen la meiofauna asociada, medusas, huevos de peces, otros organismos sésiles e insectos (Witherington *et al.*, 2012).

En aguas oligotróficas, una buena proporción de la producción primaria del primer metro de la columna de agua es aportado por el sargazo y sus algas asociadas (Carpenter y Cox, 1974); esta producción aumenta considerablemente bajo condiciones de enriquecimiento por nitrógeno y fósforo. La red trófica que se ensambla dentro de las balsas de sargazo provoca flujos de energía desde los productores primarios aclimatados a condiciones extremas de baja disponibilidad de nutrientes, insolación, y temperatura variable, hacia herbívoros, depredadores y así hasta los organismos detritívoros. Inclusive, se tiene evidencia de que ciertos peces e invertebrados del mar profundo consumen sargazo y epibiontes asociados que se han exportado al fondo por el hundimiento de aguas (Fleury y Drazen, 2013).

A pesar de que los índices de riqueza no son particularmente altos dentro de una balsa de sargazo, el número de individuos sí es significativamente diferente que otras zonas de mar abierto, y esta riqueza está positivamente relacionada con el peso neto de sargazo (Casazza y Ross, 2008). Las balsas de sargazo también sirven como vectores de

conectividad y transporte de biodiversidad entre áreas alejadas miles de kilómetros, pues permiten el intercambio genético de cientos de especies y el transporte de nutrientes entre las costas oeste y este del Atlántico (Sehein *et al.*, 2014; Franks *et al.*, 2016; Thiel y Fraser, 2016).

A pesar de toda la vida que puede contener una balsa, la composición específica de una comunidad del sargazo es altamente variable, y no parece depender únicamente de factores físicos como la ubicación o la temperatura del agua, sino que puede ser el resultado de una serie de eventos que definen cada balsa de sargazo como una entidad particular (Huffard *et al.*, 2014). El efecto acumulado de diversos factores a lo largo de la historia de vida de una balsa determinará su composición biótica, sus relaciones tróficas, sus procesos ecológicos, etc. convirtiéndola en una comunidad única (Stoner y Greening, 1984).

El sargazo arriba de forma natural a todas las playas tropicales y semitempladas del Atlántico, con variaciones estacionales originadas por las condiciones atmosféricas y oceanográficas regionales y locales (Gower y King, 2011). La presencia natural del sargazo en la costa provee alimento y nutrientes a los componentes de los ecosistemas costeros, pues éste proporciona hábitat y recursos directos a los organismos intermareales, quienes son sustento para aves y otros carroñeros. Posteriormente, el sargazo en descomposición se incorpora a los sedimentos costeros, lo que provee nutrientes para la vegetación de duna; y es sabido que esta vegetación promueve la estabilización de las playas (Williams y Feagin, 2010). Una duna estabilizada y cementada aminora el movimiento de arena y previene la erosión de la playa.

La historia del problema

Desde hace poco menos de 10 años se comenzó a reportar el arribo de sargazo en cantidades cada vez mayores a las observadas históricamente en diferentes costas del Atlántico. Los primeros reportes de arribos extraordinarios de sargazo aparecieron en 2011 en varios puntos del Caribe, Brasil y la costa este de Asia (Franks *et al.*, 2012; Schell *et al.*, 2015) y fueron confirmados posteriormente con observaciones satelitales (Gower y King, 2013; Wang y Hu, 2016).

Se ha planteado que la producción excesiva de estas algas en el Caribe, provienen de la costa este y norte de Brasil (Gower *et al.*, 2013; Wang y Hu, 2016) y son transportados a través de los canales entre el continente y las Antillas menores por las corrientes de Guayana y Antillas, y posteriormente acarreados hacia el oeste por el sistema de circulación del mar Caribe y los vientos predominantes de la región (Andrade y Barton, 2000). Diversas investigaciones confirman el incremento exponencial de la cobertura de sargazo proveniente de la región norecuatorial y su dispersión al interior del Caribe (Franks *et al.*, 2012; Gower *et al.*, 2013; Wang y Hu, 2016).

Teniendo como base observaciones previas al 2011 y las cantidades observadas posteriormente, se ha llegado a un panorama claro de los crecientes aportes de sargazo que circulan en el Atlántico norte (Gower *et al.*, 2013; Wang y Hu, 2016), y que se transportan desde la región de recirculación norecuatorial, el mar Caribe, golfo de México y la región de circulación de la corriente del Golfo (Franks *et al.*, 2016). Si bien el crecimiento anómalo del sargazo en 2015 fue considerable en comparación con la escasa presencia previa

(Gower *et al.*, 2013; Uribe-Martínez *et al.*, 2016), los reportes del 2018 en todas las costas del Caribe superaron los registros históricos, particularmente para los meses de agosto y septiembre (figura 5). Las playas a las que arriba el sargazo en cantidades masivas y preocupantes se cuentan por cientos en más de una veintena de países, aunque es conocido que mucha de la atención se ha centrado en las playas turísticas y en los impactos que se observan ahí.

Un problema multifactorial

Sin perder de vista que el sargazo sirve como hábitat para múltiples especies y que en condiciones naturales constituye un importante ecosistema pelágico, su florecimiento anómalo se ha convertido en un factor de estrés adicional a los ecosistemas costeros. Arrecifes coralinos, pastos marinos y dunas costeras se ven afectados por los efectos del arribo masivo de sargazo a la costa, ecosistemas que ya de por sí sufren las consecuencias de las malas prácticas de actividades antrópicas.

De acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre (artículo 1 sección XVII) las poblaciones que se tornan perjudiciales son aquellas “pertenecientes a especies silvestres o domésticas que por modificaciones a su hábitat o a su biología, o que por encontrarse fuera de su área de distribución natural, tengan efectos negativos para el ambiente natural, otras especies o el hombre, y por lo tanto requieran de la aplicación de medidas especiales de manejo o control.” (DOF, 2018)

Como cualquier elemento biótico, este hábitat oceánico existe y se sostiene por factores ambientales que promueven o limitan su existencia. Si concurren las con-

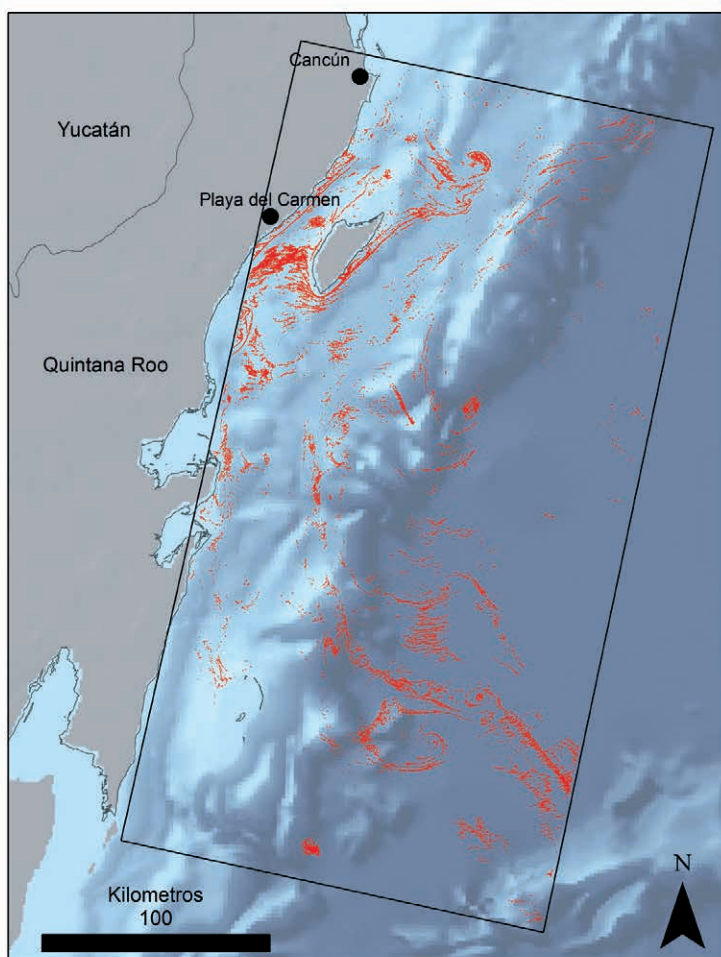
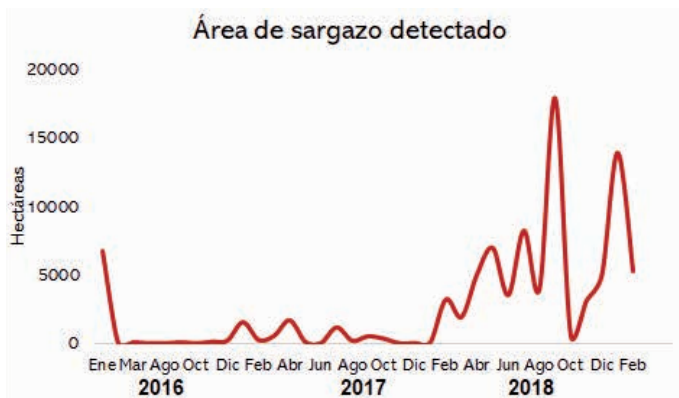


Figura 5. Área de sargazo detectado en dos escenas de Landsat 8-OLI (018-046 y 018-47).

a) Serie de tiempo de enero de 2016 a marzo de 2019 de la cobertura de sargazo y b) Sargazo detectado en septiembre de 2018 en rojo (las líneas de sargazo han sido exageradas con fines de visualización, pues son en realidad entre 30 y 100 m de ancho en promedio); con una línea negra se ilustra el área de observación.

diciones adecuadas para que un alga crezca sin controles bióticos (*e.g.* ramoneo) o abióticos (*e.g.* bajas temperaturas), ésta crecerá indefinidamente. Ya que el sargazo no es dependiente de un suelo, no tiene barreras físicas que lo contengan (salvo los continentes) y que no tiene consumidores directos suficientes, se puede inferir que, ante condiciones favorables como aguas enriquecidas con nutrientes y temperaturas adecuadas, se promoverá un crecimiento ilimitado, posiblemente hasta que una crisis autoinducida lo frene.

Temperatura del mar y circulación

Hacia inicios del otoño del año 2015, en el Simposio de los Grandes Ecosistemas Marinos de Latino América y el Caribe se desarrolló una sesión de trabajo para analizar la presencia masiva de sargazo en las costas de la región del gran Caribe. En esa sesión se presentó la hipótesis de que las arribaciones están ligadas a procesos oceánicos de gran escala cuya dinámica es regida por el fenómeno de cambio climático (Arreguín-Sánchez, 2019). En el foro se propuso que el proceso iniciaba con el cambio de fase del índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en inglés), que representa la diferencia de presión atmosférica a nivel del mar entre Islandia y las Islas Azores, que controla la fuerza y la dirección de los vientos y las trayectorias de tormenta en el Atlántico Norte. La serie histórica de la anomalía del índice NAO, muestra ciclos de entre 70 a 80 años característicos del proceso de cambio climático, y muestra una tendencia decreciente desde la década de los años 1990, entrando en fase negativa aproximadamente a mitad de la década de los 2000 (Tedesco *et al.*, 2013). Los cambios en el NAO se manifiestan en los patrones de corrientes marinas y al entrar en fase

negativa la corriente del Atlántico Norte se debilita mientras que la corriente de Retorno (que fluye en sentido opuesto en aguas profundas) se fortalece. Al mismo tiempo los vientos alisios, que provienen del continente africano, y los contralisios, desde el continente americano, se debilitan; y el Giro del Atlántico Subtropical (GAS) tiende a intensificarse.

Bajo estos argumentos, se planteó que el sargazo que entra al mar Caribe tenía como origen el mar de los Sargazos en el Atlántico Norte. Así, en el recorrido a través de la corriente de las Canarias y la corriente de Guinea, el sargazo pasaría frente a las regiones de las desembocaduras de los ríos Volta, Niger y Congo, en el continente africano; y frente al río Amazonas incidiendo con las corrientes de Brasil y Norecuatorial. Así mismo, las tendencias crecientes de largo plazo de las anomalías de TSM, e irradiancia a nivel regional (Arreguín-Sánchez, 2019), se sumarían a las condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo del sargazo, por lo que el crecimiento de los mantos de sargazo se vería favorecido por los nutrientes disponibles frente a las regiones continentales, así como por las condiciones de luz y TSM que a su vez favorecen el metabolismo y fotosíntesis de las macroalgas (Lapointe, 1995; Oschiles, 2001).

Aporte excesivo de nutrientes

Con base en investigaciones publicadas en años posteriores al 2015, surge una de las hipótesis más comentadas actualmente acerca del origen del sargazo de los arribos masivos del Caribe que establece que éste no proviene del mar de los Sargazos, sino del Atlántico tropical (Gower y King, 2013) donde una variante particular es la dominante y que coincide con lo observado en el Caribe (Schell *et al.*, 2015). Bajo

este supuesto, diversos autores se han sumado al planteamiento de que las entradas anómalas de nutrientes provenientes de la descarga de los grandes ríos del Atlántico pueden contribuir considerablemente a la reproducción de estas algas, desde el río Mississippi en Estados Unidos, hasta los grandes ríos tropicales como el Congo en África y Amazonas y Orinoco en América Latina (Johnson *et al.*, 2014; Smetacek y Zingone, 2013; Goes *et al.*, 2014).

Dichas descargas, además de insertar los nutrientes que de forma natural son acarreados desde cuenca arriba, tienen actualmente aportes considerablemente más altos que la capacidad de asimilación de los sistemas marinos. Por ejemplo, se ha relacionado la acelerada tasa de deforestación de la selva amazónica, con los florecimientos algales nocivos, ya que los aportes continentales de nitritos y fosfatos se filtran y eutrofizan cuerpos de agua, aunque por la baja velocidad de transporte, este efecto pueda verse reflejado después de años (Djakouré *et al.*, 2017). Cabe mencionar que la deforestación de la selva no se realiza únicamente con el objetivo de la extracción de maderas, sino también para realizar cambios de uso de suelo. Las plantaciones de monocultivos y ganadería, al utilizar agroquímicos, pesticidas y fertilizantes, contribuyen con altos contenidos de nitrógeno y fósforo, así como con una carga de grandes cantidades de desechos orgánicos de ganado, aunque sus efectos puedan verse años después (Meyer-Reil y Köster, 2000). Sin embargo, Djakouré *et al.* (2017), sugieren que el volumen de agua de estos ríos no es

el control dominante en las floraciones de sargazo, sino que pueden estar relacionadas con la escorrentía continental en general y proponen que el incremento de producción en aguas neríticas es debido a la suma de las cargas de toda la costa.

Aunado a toda esa problemática, el sargazo en el mar conjunta dos problemas más del océano: la basura plástica y los hidrocarburos, ya que la misma dinámica oceanográfica que aglomera balsas de sargazo, ensambla también cúmulos de estos desechos (Kingsford, 1993). De esta manera, las balsas de sargazo se convierten en un ecosistema altamente susceptible a la contaminación marina, pudiendo incluso ser hasta letal para sus habitantes ya que ellos ingieren el plástico al confundirlo con alimento y asimilan los compuestos de hidrocarburos directamente y a lo largo de la red trófica, además de la sensibilidad mecánica que estas macroalgas tienen a impactos por hidrocarburos de manera particular (Burns y Teal, 1973; Witherington *et al.*, 2012; Powers *et al.*, 2013).

La producción excesiva de sargazo (y en consecuencia del arribo masivo a la costa) es en conclusión el epítome de una intrincada problemática ambiental internacional, sin límites ni fronteras políticas. Esta problemática es una expresión tajante de los problemas ambientales más fundamentales que acaecen en el mundo, desde la pérdida de cobertura boscosa y su conversión a cultivos masivos, la contaminación más extrema de los ríos y por supuesto la elevación de la temperatura del mar como consecuencia del cambio climático.

Un desastre natural

Se ha discutido recurrentemente si las arribazones masivas de sargazo se pueden considerar un desastre natural o no. En las Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales en México, se considera un *Desastre Natural*: “...al resultado de la ocurrencia del fenómeno o de los fenómenos naturales concatenados o no, que cuando acontecen en un tiempo y espacio delimitado, causan daños severos y cuya periodicidad es difícil o imposible de proyectar” (DOF: 03/12/2010). Digamos que sí es un fenómeno natural extremadamente concatenado, que sí causa severos daños y, definitivamente, aun no se conoce como proyectar su periodicidad, en conclusión, las arribazones masivas y anómalas de sargazo podrían considerarse un desastre natural.

En la misma reglamentación se define como *Fenómeno Natural Perturbador* “al evento generado por la naturaleza que, por sus características extremas, atípicas o severas, condiciona o genera una situación de Desastre Natural, caracterizado por la ausencia relativa de la participación directa o indirecta del ser humano” (DOF: 03/12/2010). Según lo que sabemos, una arribazón masiva de sargazo sí es un evento generado por la naturaleza en una expresión extrema, con una participación relativamente ausente del ser humano. Sin embargo, para ciertas autoridades gubernamentales no lo es, ya que deviene, según sus referencias, de impactos humanos que han alterado el “orden de las cosas”. Y en eso pueden tener razón; aunque ¿no son los huracanes muy intensos ya el producto de una alteración humana del “orden de las cosas”?

Con base en estas referencias, las arribazones masivas de sargazo pueden ser consideradas el fenómeno natural perturbador que genera un desastre natural. Este desastre resulta en impactos directos e indirectos en áreas ecológicamente sensibles como hábitats bentónicos y costeros, áreas naturales protegidas, humedales terrestres, entre otros (ver El impacto en los ecosistemas de este capítulo); así mismo repercute en la alteración de actividades económicas tan importantes como el turismo de playa; representa riesgos a la salud humana por emisiones de ácido sulfúrico al descomponerse, lixiviados que se van al manto freático y potenciales daños como dermatitis por contacto directo (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016).

Para alcanzar un esquema de manejo y mitigación de los efectos de las arribazones masivas de sargazo, se requiere formalizar al menos tres etapas: prevención, manejo y recuperación. En estas se incluye la detección temprana, sistemas de alerta de arribo masivo efectivos, contingencia, recolección, disposición final o aprovechamiento adecuados y finalmente, restauración de hábitats y ecosistemas impactados. Cada una de esas etapas requiere un enorme esfuerzo de investigación que provea elementos contundentes para implementar estrategias acordes a las magnitudes del problema, afectando lo menos posible a la biodiversidad involucrada (desde ecosistemas hasta especies).

Detección satelital

La piedra angular de cualquier sistema de alerta, de mitigación o de monitoreo es un sistema de detección de balsas de sargazo en mar abierto o en sitios que se tenga certeza de que son las zonas precursoras de la presencia del sargazo en el sitio de interés. Detectar el sargazo mediante el uso de imágenes satelitales ha sido posible desde hace más de una década, con la implementación de algoritmos de detección de algas pelágicas con una amplia gama de sensores. Se han utilizado desde los algoritmos más sencillos como el Índice de Clorofila Máxima o MCI (Gower *et al.*, 2006 y 2013), el MODIS Red Edge o MRE (Gower *et al.*, 2013) y el Índice de Algas Flotantes o FAI (Hu, 2009), hasta los más complejos esquemas como el AFAI (Wang y Hu, 2016) y el ERISNet (Arellano-Verdejo *et al.*, 2019). La mayoría han sido implementados esencialmente para utilizarse con imágenes de baja o moderada resolución espacial (tamaño de píxel mayor a 1km) lo que permite cubrir extensas áreas en una sola escena y de manera frecuente. Estas aproximaciones se mantienen en los alcances de los insumos, pues algunos sensores pueden tener una buena respuesta en ambientes oceánicos mientras que sufren de saturación en los ambientes costeros (Arellano-Verdejo *et al.*, 2019).

También se ha trabajado en la detección en escalas espaciales más finas (Witherington *et al.*, 2012; Cuevas *et al.*, 2018), con imágenes como Landsat 8 OLI o Sentinel. Sin embargo, la principal desventaja de estos insumos es que solamente se tiene una siguiente imagen del mismo sitio varios días después. Y es que, considerando que el sargazo pelágico viaja a merced del viento y por ende de corrientes superficiales, 16 días entre imágenes satelitales de un mismo

sitio (en el caso de las imágenes Landsat 8) puede considerarse un período insuficiente para dar seguimiento a las balsas, observar la evolución de la distribución e implementar algunas medidas de operativas en campo (figura 6). En contra parte, la fotografía aérea obtenida con drones o vuelos bajos, proveen datos de muy buena calidad con resoluciones espaciales de unos cuantos centímetros y que permiten delimitar en escalas finas las áreas ocupadas por sargazo; sin embargo, este método puede ser costoso y difícil de sistematizar en grandes extensiones.

La configuración espacial de las balsas de sargazo tiende a generar líneas alargadas de algunos metros de ancho o puede encontrarse disperso en pequeñas balsas; si esta configuración no rebasa el tamaño y densidad límite mínimo de detección (Hu *et al.*, 2015) se restringe fuertemente la capacidad de detectar el sargazo vía satelital. De acuerdo con Hu *et al.* (2015) el sargazo debe ocupar más del 20 % del área de un píxel para poder ser detectado, que para el caso de las imágenes MODIS (resolución nominal de 1 km) debería ser un área mayor 200 000 m². Estas aproximaciones son altamente útiles para la prevención y seguimiento a niveles de grandes cuencas oceánicas, pues presentan una visión panorámica de la situación en grandes extensiones marinas (*e.g.* todo el mar Caribe, el Atlántico Central, o el golfo de México) y provee información oportuna del desplazamiento de grandes balsas de sargazo. La característica más importante de la detección con imágenes de baja resolución espacial y de alta frecuencia de revisita, es que permite dar seguimiento continuo a las acumulaciones más significativas de sargazo y con



Figura 6. Resumen de las principales características que tienen los instrumentos de detección de sargazo utilizados actualmente, donde la mayoría de ellos se pueden adquirir de manera gratuita. Se excluye MERIS que desde 2012 está fuera de operaciones.

un tiempo considerable de anticipación si se consideran las condiciones de los focos rojos de monitoreo (*e.g.* la costa norte de Brasil).

Por otro lado, las aproximaciones que apuestan por una detección más fina tanto espacial como en calidad de detección (Webster y Linton, 2013; Cuevas *et al.*, 2018) ofrecen resultados cuantitativos más precisos, y permiten estimar el área efectiva cubierta por sargazo. Para estimar métricas de cobertura, se requiere que la aproximación metodológica permita establecer de manera determinista el área con sargazo y que el nivel de confusión con otros objetos sea prácticamente nulo. Esta última condición es fundamental, ya que se ha observado que el porcentaje de área de una escena satelital que se encuentra cubierta con sargazo es frecuentemente mucho menor del 1 % del área total supervisada con las imágenes (Uribe-Martínez *et al.*, 2016; Cuevas *et al.*, 2018; Guzmán-Ramírez *et al.*, 2018), por lo que confusiones con nubes o con la

alta reflectancia de la zona costera pueden sobreestimar las métricas en varios ordenes de magnitud.

No existe un “mejor sistema para la detección de sargazo”, pues todos tienen salvedades y fortalezas. La mayoría de las detecciones automatizadas proveen sólo información cualitativa de la distribución de sargazo, ya que varias presentan un alto porcentaje de confusión con otros elementos, como interferencia de la costa, incidencia de la luz, nubes, entre otros. También se ha reportado que para imágenes de alta resolución no es posible fijar un umbral del FAI que defina de forma categórica la presencia de sargazo, sin perder información valiosa (omisión de cobertura) o incluir elementos que no son sargazo (sobreestimaciones) (Cuevas *et al.*, 2018).

Hasta lo que se conoce actualmente, la mayoría de las implementaciones replica alguno de los índices de algas flotantes, ya que tienen el objetivo de poner a disposición de manera expedita las detecciones de

Tabla 1. Métodos de detección de sargazo publicada en revistas científicas internacionales.

Autores	Tipo de imágenes	Zona de estudio	Índices/ métodos de detección	Año de detección
Gower, Borstad y King, 2006.	MERIS, MODIST, MODISA, SEAWifs.	Oeste del GDM.	Maximum Chlorophyll Index (MCI), composición RGB.	2005.
Gower y King, 2011.	MERIS.	Atlántico oeste y GDM.	Maximum Chorophyll Index (MCI).	2002-2008.
Gower, Young y King, 2013.	MERIS y MODIS.	Atlántico Norte, GDM, mar Caribe y Atlántico tropical de noreste de Brasil hasta el oeste de Africa	MCI y MODIS Red Edge (MRE).	2002-2012.
Webster y Linton, 2013.	LANDSAT.	Costa del golfo de Texas.	Sargassum Early Advisory System (SEAS) /periódicos .	1999-2012 (2009).
Hu <i>et al.</i> , 2015.	MODIS, LANDSAT, World-View-2, HICO y AVIRIS.	Diferentes localidades en el Atlántico y GDM de acuerdo a protocolos similares.	Floating Algae Index (FAI), NDVI, Maximum chlorophyll index (MCI), Sargassum Index (SI), Line Depth (LD) y red/ green band ratio (RGR)/ fotos digitales desde aviones.	Múltiples años.
Hu <i>et al.</i> , 2016.	LANDSAT y AVIRIS .	Noreste de GDM.	FAI y Fotografías digitales aéreas de baja altitud (de NOAA).	2010.
Wang y Hu, 2016	MODIS.	Región atlántica del oeste central.	Alternative floating algae index (AFAI).	2000-2015.
Jean-Phillippe, Hedio y Hu, 2017.	MODIS.	Antillas menores.	AFAI .	2011-2015.
Wang y Hu, 2017.	MODIS.	Islas del Caribe y Atlántico central oeste.	Alternative floating algae index (AFAI).	2000-2016.
Cuevas <i>et al.</i> , 2018	LANDSAT.	Caribe mexicano.	NDVI, ARVI, SAVI, EVI y FAI, con RandomForest.	2014-2015.
Arellano-Verdejo <i>et al.</i> , 2019.	MODIS.	No especificada.	Red neuronal profunda.	2015 y 2018.

sargazo en distintas regiones. La mayoría utilizan algún índice de detección de algas flotantes como FAI, AFAI o NFAI o bien aprovechan la ciencia ciudadana para gestionar reportes de avistamientos de sargazo (tabla 2).

Entre las publicaciones más recientes acerca de detección de sargazo se encuentran dos investigaciones realizadas en México que utilizan algoritmos avanzados de

clasificación (Bosques Aleatorios y Redes neuronales) para mejorar la calidad de la detección (Cuevas *et al.*, 2018; Arellano-Verdejo *et al.*, 2019). Una utiliza imágenes de alta resolución, mientras que la otra utiliza imágenes MODIS para detectar sargazo en la costa, aunque con un importante reto para minimizar la influencia de la tierra en el resultado (Arellano-Verdejo *et al.*, 2019).

Tabla 2. Características generales de diversos sistemas de detección de sargazo dispuestos en internet hasta mayo de 2019.

Nombre	Portal web	País	Institución	Inicio	AE	Imagen empleada	Índice/método
Sargassum monitoring service.	eo4society.int/projects/sargassum-monitoring-service	Más de 22 miembros.	European Space Agency.	2019.	Área del Caribe.	Sentinel 3 y MODIS.	NFAI.
Caribbean Coastal Ocean Observing System (CARICOOS) Imágenes de algas flotantes (Sargazo)	caricoos.org/oceans/observations/modis_aqua/ECARIB	EUA.	Universidades del sur de Florida	2018	Antillas	MODIS/AQUA.	AFAI.
Satellite-based Sargassum Watch System (SaWS).	optics.marine.usf.edu/projects/SaWS.html	EUA.	Universidades del sur de Florida.	2018	Mar Intraamérica Atlántico occidental y Bermudas.	MODIS/Terra. MODIS/Aqua VIIRS. y Landsat 8 OLI.	FAI y Color Index (CI).
Sargassum monitoring	sargassummonitoring.com		The Ocean Cleaner	2018	Sitios con sargazo	-	Ciencia ciudadana, fotografías geoposicionadas.
Sargassum Early Advisor System (SEAS).	seas-forecast.com	EUA.	Texas A&M Galveston	2013/2015.	Costa del Golfo de México, Gran Caimán, Jamaica, Haití, Rep. Dominicana, Puerto Rico y varias islas del Caribe.	Landast.	HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) y TABS (Texas Automated Bouy System).
Sistema de pronóstico automático para la gestión del sargazo.	datastore.cls.fr/category/sargassum/	EUA.	CLS Data Store.	2018	Región del Caribe	Sentinel & Sentinel-2, MODIS/Aqua y Landsat.	FAI.
Sitio de informes: sargassum pelágico en el Caribe-2018.	gcr.usm.edu/sargassum/index.php	EUA.	Universidad del Sur de Mississippi.	2018	Región del Caribe.	-	Ciencia ciudadana, fotografías geoposicionadas.
Red de Monitoreo del Sargazo, Cancún.	facebook.com/pg/RedSargazo/about/?ref=page	México.	-	2015	Sitios con sargazo.	-	Ciencia ciudadana, fotografías geoposicionadas.
Sargassum watch (Naturalist version).	colombia.inaturalist.org/projects/sargassum-watch-inaturalist	EUA.	Laboratorios de investigación de macroalgas marinas, Florida International University	2018	Sur de Florida y costas del Caribe	-	Ciencia ciudadana, fotografías geoposicionadas.
Monitoreo de sargazo pelágico en el Atlántico mexicano.	https://www.naturalista.mx/projects/monitoreo-de-sargazo-pelagico-en-el-atlantico-mexicano	México.	Proyecto ciudadano.	2018	Costas del golfo de México y mar Caribe mexicano.	Contribuye al sistema satelital de aleta temprana de sargazo (SATsum).	Ciencia ciudadana, fotografías geoposicionadas.
Sistema de información y análisis de ecosistemas marinos de México (SIMAR) / Sistema Satelital de Alerta Temprana de Sargazo (SATsum).	simar.conabio.gob.mx	México.	CONABIO.	En desarrollo.	Costas del golfo de México, mar Caribe mexicano y Pacífico nororiental tropical.	MODIS.	AFAI.

El impacto en los ecosistemas

En el contexto de relevancia del sargazo como ecosistema crítico para especies en peligro de extinción y esencial para peces de interés comercial, la evaluación cuantitativa de la distribución espacial de las agregaciones de sargazo en el Caribe mexicano tiene alta relevancia para determinar los impactos potenciales sobre ecosistemas altamente sensibles. Los arrecifes de coral y pastos marinos son clave y abundantes en esta región, y se ha demostrado que pueden ser altamente afectados por el arribo y permanencia de grandes cantidades de sargazo. Por ejemplo, Van-Tussenbroek *et al.* (2017) reportaron efectos adversos severos sobre comunidades de pastos marinos en el Caribe Mexicano.

La evaluación de los impactos potenciales puede proveer soporte en aspectos de inteligencia y organización estratégica para planeación, preparación y manejo de las arribaciones masivas de la macroalga. Para realizar una primera evaluación a nivel regional del potencial impacto de la incidencia constante de grandes cantidades de sargazo en áreas sensibles, se utilizaron cuantificaciones espacialmente explícitas de la distribución espacial mensual de sargazo en el Caribe mexicano, derivadas a partir de imágenes satelitales Landsat 8 OLI siguiendo un protocolo modificado de Cuevas *et al.* (2018). Se utilizaron datos de enero del 2016 a marzo de 2019 para evaluar atributos estadísticos del área de cobertura de sargazo flotante en el Caribe mexicano, la configuración espacial que ocurrió durante este período y su coincidencia con áreas sensibles a la acumulación del sargazo.

La zona de mayor acumulación de sargazo flotante se detectó en el canal de Cozu-

mel, entre la isla y el municipio de Solidaridad en Quintana Roo (figura 7). En esta área se reconocen características oceanográficas particulares a nivel de mesoescala (Chávez *et al.*, 2003; Carrillo *et al.*, 2017; Alcérreca-Huerta *et al.*, 2019), las cuales se asume son responsables de esta acumulación máxima en relación con el resto de la región.

Con este resultado especulamos que el sargazo que entra al canal de Cozumel tiene altas probabilidades de arribar a la playa, mientras que el sargazo que cruza por la porción oriental de la de isla Cozumel tiene mayor probabilidad de continuar su movimiento hacia el norte impulsado por la fuerte corriente de Yucatán (Candela *et al.*, 2002). En la configuración espacial regional se observan zonas de alta acumulación de sargazo en zonas oceánicas alrededor de 100 km de distancia de la línea de costa, tales agregaciones tienen el potencial de derivar hacia la costa por efecto de las corrientes superficiales, particularmente en el sur de Quintana Roo (Cetina *et al.*, 2006), pero también se especula que el mayor porcentaje de estas agregaciones continuará su movimiento hacia el norte (figura 7).

En algunas zonas con condiciones geomorfológicas particulares como es banco Chinchorro, también se observa una concentración considerable de sargazo flotante en el costado poniente del arrecife, destacándose la baja acumulación de la macroalga en el lado oriente donde se esperaría una mayor aglomeración por el mero efecto de los vientos y corrientes dominantes conocidos a escala regional oceánica (figura 7). Esta condición podría explicarse a partir de las corrientes costeras que ocurren entre el arrecife y el continente, además de la in-

cidencia de la corriente de Caimán que se estima ocurre de oeste a este en la latitud de banco Chinchorro, por lo que su costa-

do oriente está en constante influencia del chorro de esta corriente (Ezer *et al.*, 2005; Cetina *et al.*, 2006; Carrillo *et al.*, 2015).

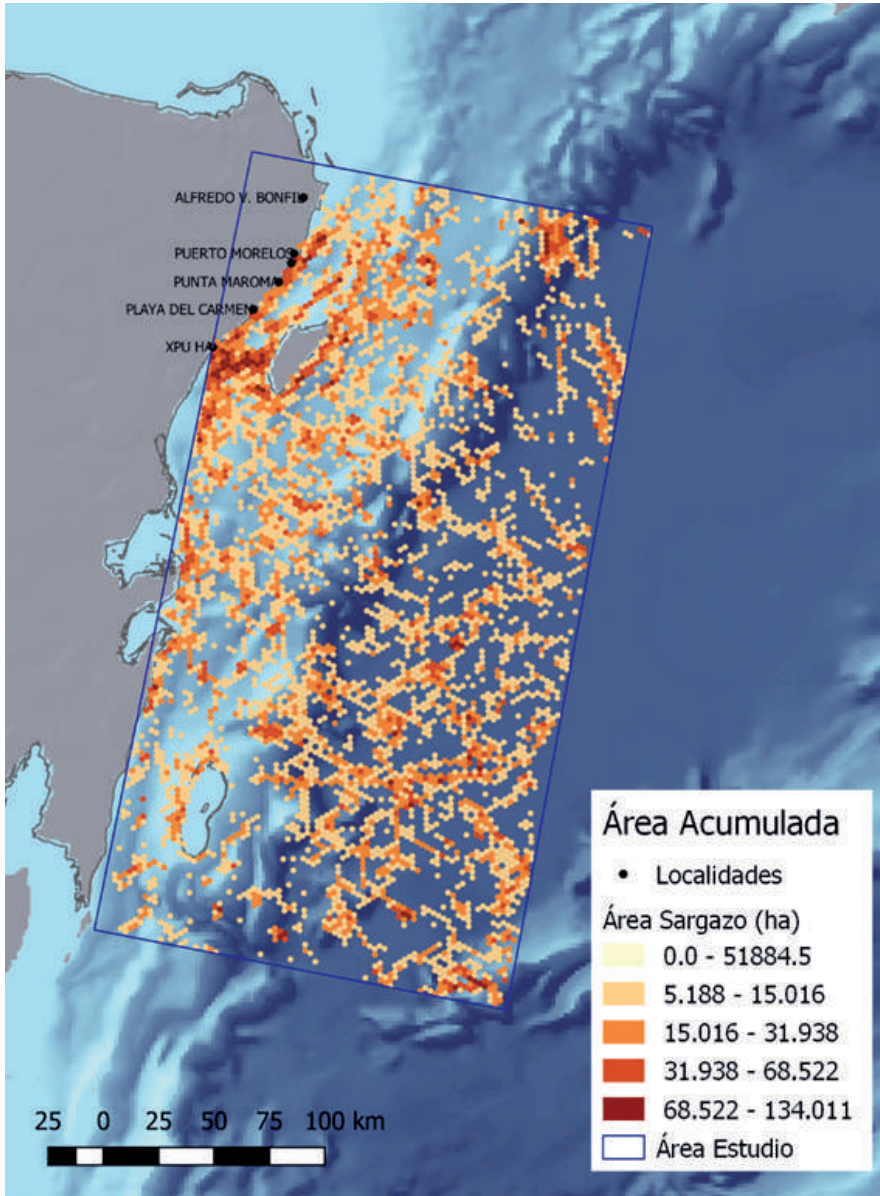


Figura 7. Configuración espacial del área acumulada de sargazo flotante en el Caribe mexicano para el período de enero de 2016 a marzo de 2019, datos derivados a partir de la detección de alta resolución espacial con imágenes Landsat 8 OLI. Cada unidad espacial (hexágono) tiene un diámetro de 25 km².

En términos del número de meses, en el que en cada unidad espacial se detectó la presencia de sargazo (frecuencia de ocurrencia) se confirmó las grandes acumulaciones adyacentes a la línea de costa y particularmente al sur de Cozumel, donde ocurren las estructuras oceánicas de mesoescala mencionadas (figura 8). Los pa-

trones de recurrencia alrededor de la isla Cozumel y de banco Chinchorro se acentúan en comparación con la configuración de área acumulada (figura 7), y se sugiere la estructuración de patrones lineales de ocurrencia de sargazo con orientación sureste –noroeste desde la zona oceánica (a más de 50 km de la costa) hacia el litoral mexicano

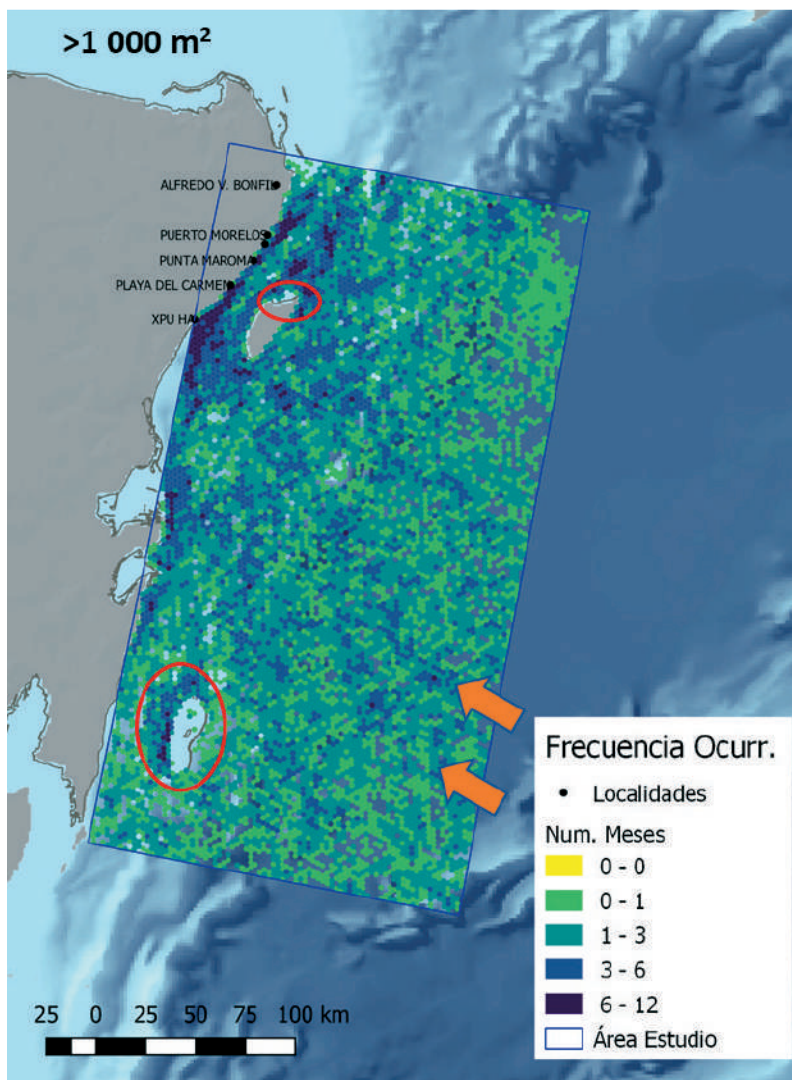


Figura 8. Configuración espacial de la frecuencia de ocurrencia de sargazo por unidad de análisis (hexágonos de 25 km de diámetro) en el Caribe mexicano para el período enero de 2016 a marzo de 2019. Los datos de cobertura de sargazo se generaron a partir de la detección de alta resolución espacial con imágenes Landsat 8-OLI.

(Uribe-Martínez *et al.*, 2017). Este resultado preliminar contribuye con información crítica para el manejo de estos arribazones masivos en México, aunque se requieren investigaciones interdisciplinarias futuras que confirmen estos patrones, sus causas y potenciales consecuencias (figura 8).

Se analizó también la coincidencia espacial del sargazo sobre áreas sensibles, con base en la distribución de zonas coralinas en el Caribe mexicano publicado por CONABIO (Cerdeira *et al.*, 2018). Se observó que toda la extensión tuvo presencia continua de sargazo desde un sólo mes (29.59 % de la extensión total) hasta entre 7 y 11 meses (8.84 %). Con base en la extensión de pastos marinos de Cerdeira *et al.* (2018) y ReefGIS-CARICOM (<http://reefgis.reefbase.org/>), se determinó que el 19.17 % de su extensión estuvo por lo menos con un mes de cobertura de sargazo flotante, mientras que el 6.10 % estuvo entre ocho y 11 me-

ses con cobertura continua de sargazo. Esta información sobre áreas ecológicamente sensibles es un referente en la evaluación de los impactos que estas arribazones potencialmente tienen en la región del Caribe mexicano.

Estos datos proveen un primer panorama del grado de interferencia física que tiene el sargazo sobre algunas de las áreas sensibles, que puede tener consecuencias en el deterioro de la calidad del agua, la transparencia, recirculación de agua, etc. (van Tussenbroek *et al.*, 2016). Es definitivo que se requiere abundar en el conocimiento al respecto, por lo que nuestro grupo de trabajo continúa las investigaciones para proveer mayor detalle espacial y temporal de las asociaciones entre sargazo y áreas sensibles, así como la medición de indicadores de atributos clave para la viabilidad de los ecosistemas marinos.

Lecciones aprendidas: la gobernanza en México

Una de las preocupaciones fundamentales del gobierno mexicano nació inicialmente desde el sector turístico en la región del Caribe por la afectación que implican las grandes masas de sargazo que arriban a las playas. La preocupación obedece al efecto negativo de este fenómeno en la economía nacional, ya que solo el destino turístico de Cancún genera alrededor del 1.5 % del producto interno bruto (PIB). Es un porcentaje importante para México, aunque es bajo si se compara con el de otros países que enfrentan esta situación, como las islas de Santa Lucía, Bahamas, Antigua y Barbuda, donde la actividad turística genera alrededor del 30 % de su PIB, mientras que el

promedio para toda la región del Caribe es de 16 % del PIB (CEPAL, 2011). El problema generado por las arribazones masivas de sargazo a las playas habitadas se agrava ante la magnitud de los volúmenes de sargazo ya que, independientemente de su posible colecta, el destino final del mismo es un gran reto de administración pública pues puede a su vez convertirse en un problema de salud, bienestar social y desempleo.

Los arribos masivos de sargazo en las costas mexicanas se comenzaron a reportar en el verano del 2011, particularmente en playas del norte de Quintana Roo, donde afectó de manera “importante” a la industria del turismo de playa (Rodríguez-Martínez

et al., 2016). En ese entonces nadie previno que eso sólo sería el comienzo de un problema creciente, literalmente, de manera exponencial. En el verano del 2015, México vivió una emergencia sin precedentes con 2 360 m³ de sargazo por km de playa (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). Comparando el sargazo detectado con imágenes satelitales en el 2014, se determinó un aumento del 400 % para julio de ese año (Uribe-Martínez *et al.*, 2016). La presencia de fuertes cantidades del alga permaneció hasta enero del 2016 (Guzmán-Ramírez *et al.*, 2018).

México se enfrentó prácticamente sin estrategias al arribo de miles de toneladas de sargazo en la región más importante de turismo de playa. En aquel año, en el país se realizaba muy poca o nula investigación relacionada con el alga y prácticamente nadie sabía qué hacer o cómo manejar el problema. El sargazo se acumuló en las playas y en el agua; ahí se descompuso y ocasionó severos daños (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016), los más llamativos han sido desde entonces los que se presentan en áreas de interés económico, y con mucho menos énfasis, los que se presentan en áreas ecológicamente sensibles (Van Tussenbroek *et al.*, 2017). Desde entonces, el gobierno mexicano en todos sus niveles, han destinado millones de pesos a financiar programas de recolección, manejo, algunas investigaciones desarticuladas, entre otras actividades, con el fin de “controlar” los efectos negativos principalmente sobre la economía, causados por las arribazones masivas de sargazo (Expansión, 2018; Enfoque Noticias, 2019). Sin embargo, el problema ha crecido de forma exponencial a la par del

incremento de sargazo que arriba en las playas; conforme se establece un plan con base en los parámetros de arribo de un período en particular, el siguiente período de arribazones se vuelca contra toda logística planeada.

Después de la intensa arribazón del 2015, se registraron 20 meses de cierta tranquilidad pues la cantidad que llegó a playas mexicanas fue perfectamente manejable (Guzmán-Ramírez *et al.*, 2018). Inclusive, los ecosistemas que fueron afectados en algún grado comenzaron a mostrar signos de recuperación (Fonseca, Martha, Comunicación Personal)¹. El país se relajó, la inversión turística se tranquilizó, la emergencia pasó y dejó de ser una prioridad para invertir en investigación. Casi dos años después parecía que el problema se podría manejar sin muchos aspavientos; algunos grupos de investigación de forma aislada mantuvieron sus objetivos, por ejemplo, para plantear métodos confiables de detección de sargazo, analizar los patrones espaciotemporales del alga, evaluar los daños a hábitats y ecosistemas, usos potenciales de las algas o plantear esquemas de restauración.

En marzo de 2018, la región del Caribe se enfrentó nuevamente con un abrupto incremento de arribo de sargazo a la playa, acompañada de la especulación de que en los meses siguientes se esperaba la presencia de cantidades mucho mayores que las observadas durante 2015. La urgencia orilló a diferentes sectores del gobierno a invertir cientos de millones de pesos casi exclusivamente en sistemas de recolección que a su parecer, y de los empresarios promoventes, eran los más avanzados. El objetivo era claro, mantener las playas de la zona turística

¹4 de abril de 2019, 4ª reunión anual del Consorcio de Investigación Oceanográfica del Golfo de México. Mérida, Yucatán, México.

lo más limpias posible. El aspecto, el acceso a la playa bloqueado, el olor y la palabra misma “sargazo” parecía que ahuyentaría a los turistas. Se instalaron barreras de diversos tipos, se utilizaron maquinarias para recolectar en playa y en agua el exceso de sargazo, se investigó si lo recolectado tenía alguna utilidad y que aminorara los riesgos sanitarios, se enterró más lejos o más cerca. Se dejó de enterrar y sólo se quitó de la playa para llevarlo a “ningún” lugar. Así se tuvo que trabajar para atender el problema en la mayoría de las ocasiones tomando decisiones a partir de planes reactivos, sin planeación estratégica ni visión integral de futuro, así como con mínimas herramientas de regulación de la atención en playa y mar, sin criterios científicos robustos para la toma de decisiones ni para la evaluación de las consecuencias que las acciones reactivas tienen sobre algunos ecosistemas; además de tener a un gobierno federal en transición.

En términos generales, se ha especulado que la inversión del gobierno para recolección y manejo durante el 2018 fue de alrededor de 300 millones de pesos (Expansión, 2018; Varillas, 2019) asignados a empresas que ofrecieron de manera expresa servicio de recolección en agua y playa, mientras que para el 2019 se presupuestaron más de 400 millones de pesos (Enfoque Noticias, 2019). Según la prensa, el gobierno del

estado ha estimado costos de alrededor de 200 millones de pesos anuales para colocar barreras con embarcaciones recolectando el sargazo en agua. Otro monto similar se estima que pueda ser necesario para la limpieza de la playa. Se propuso la colocación de celdas de disposición final cercanas a las playas de mayor interés, con una inversión inicial de acondicionamiento y operación de entre 40 y 50 millones de pesos.

Ya en agosto de 2019 (fecha de finalización de este manuscrito), no se han concretado los esfuerzos integrales y coordinados entre instituciones de los sectores gubernamental, académicos, sociedad civil e industria privada que tanto interesan a todos. Comenzando por los grandes inversionistas del sector turístico en Quintana Roo, hasta los visitantes ocasionales de las playas más afectadas, se busca de manera incansable una solución al problema del sargazo. Actualmente, la Secretaría de Marina (SEMAR) ha quedado a cargo del manejo integral del problema, con grandes limitantes en los recursos asignado y sin experiencia específica sobre el sargazo. La Secretaría tendría que asesorarse y apoyarse en los avances que tienen las instituciones de investigación nacionales para proponer las mejores alternativas para abordar el problema, invirtiendo los recursos que sean necesarios para lo que se clama como una emergencia y contingencia nacional.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Consideraciones para un sistema de alerta temprana

Una de las confusiones más recurrentes proviene del hecho de que las imágenes satelitales, si bien nos permiten observar la

presencia de sargazo en un momento pasado, no tienen por sí mismas la capacidad de predecir cómo y a dónde arribará el sargazo detectado. En el mejor de los casos se puede observar una región con unas horas

de retraso, pero esto no puede ofrecer directamente un panorama puntual de lo que sucederá en el futuro. Lo que se recomienda es considerar toda la información que se obtiene por los diversos esquemas de detección, en las diversas escalas espaciales y temporales en que se proveen. De esta forma se pueden monitorear regiones o cuencas completas de forma cualitativa, lo que provee información para la prevención con semanas o incluso meses de anticipación (*e.g.* Saws con MODIS ó VIIRS), mientras que se obtiene información de muy alta calidad, que aporta elementos cuantitativos y espacialmente explícitos de la distribución del sargazo en sitios particulares (Cuevas *et al.*, 2018). A su vez, con esa información se puede generar investigación acerca de los impactos puntuales del arribo y permanencia del sargazo en áreas de interés ecológico, social y económico.

Un sistema integral de alerta temprana, además de incluir las diferentes posibilidades de detección (figura 6), debe considerar las condiciones reales atmosféricas y oceanográficas registradas con sensores *ad hoc*, que incorporen todos los forzantes de la circulación superficial del mar (Flores-Vidal, *et al.*, 2015, 2018). Actualmente, no es suficiente con las proyecciones de los modelos de circulación, de los que hasta el momento y de conocimiento de los autores no existen en un detalle suficiente y con integración completa de forzantes de la circulación para todas las zonas de interés, por ejemplo, del Caribe mexicano, que provea los pormenores de la posible deriva de las balsas detectadas y, por ende, el lugar de arribo.

Con una detección de alta calidad y observaciones directas de las condiciones ambientales, se puede gestar un verdadero sistema de alerta temprana que provea de

un indicador con precisión medible y demostrable de probabilidad de arribo a los sitios de interés. Al conjuntar datos satelitales y mediciones que provean un panorama integral de las condiciones de circulación reales, se puede caminar hacia ese esperado y valioso sistema de alerta temprana de arribo de sargazo.

Integración del conocimiento y capacidades nacionales

Se requiere de todos los esfuerzos para detectar, prevenir, mitigar, manejar y evaluar el problema y sus consecuencias, no únicamente en el centro y norte de Quintana Roo, donde los efectos son mediáticos y económicamente importantes, sino también en regiones de interés ecológico en la zona sur del estado. Se requiere de una fuerte colaboración y coordinación de todos los sectores de la sociedad, en donde el gobierno lidera con el apoyo para sus decisiones en el sector académico, y plantea soluciones para fortalecer a la sociedad, a la vez que involucra al sector privado en las decisiones económicas.

Se hace un fuerte llamado a las autoridades para que consideren como parte de sus planes de contingencia, la experiencia de los grupos de trabajo académicos que han dedicado años a la investigación de diversos aspectos del sargazo, y que no se sigan invirtiendo millones de pesos en proyectos de grupos sin experiencia o conocimiento, esperando se apueste por productos probados, sustentados y funcionando. En la confusión y desarticulación de los actores clave, las malas decisiones facilitan que redes de monitoreo espurias malversen información disponible por falta de capacidad de análisis, generen confusión y desvíen la atención de los verdaderos problemas.

Por otro lado, se requiere que las autoridades vigilen las acciones reactivas, muchas veces desarticuladas, por el costo ambiental y económico que provocan con actividades de recolección, transporte y disposición final que se realizan actualmente en ciertos puntos de alta demanda turística, con fuertes inversiones solventadas por los gobiernos, a costa de desatender otras prioridades ambientales. Tiene que orientarse y apoyarse a los actores en playa para minimizar los impactos ecológicos de tales acciones. El costo posterior para restaurar o rehabilitar los ecosistemas dañados por las acciones de limpieza serán de magnitudes incluso mayores a los costos actuales si se

implementan acciones sin el menor recato de la sensibilidad ecológica.

De existir una solución a las arribazones de sargazo, lo más probable es que sea muy compleja por ser multidimensional, multisectorial y multinacional. Una solución no podrá existir si no antes se abunda en el conocimiento de sus causas principales, sus efectos y, sobre todo, en conocer las consecuencias e impactos ambientales de cualquier tipo de manejo. Todo esto conlleva una fuerte carga de investigación que, a pesar de lo que se desea, requiere grandes inversiones económicas y requiere un tiempo considerable para generarla.

Literatura citada

- Alcerreca-Huerta, J., J.L. Encarnacion, S. Ordonez, G. Gallegos-Diez Barroso, M. Allmark, I. Mariño-Tapia, T. O'Doherty, C. Johnstone, L. Carrillo, R. Silva, y M. Callejas-Jiménez, 2019. Energy Yield Assessment from Ocean Currents in the Insular Shelf of Cozumel Island. *Journal of Maine Science Engineering*, 7(5): 147. doi:10.3390/jmse7050147.
- Andrade, C.A., y E.D. Barton, 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105(C11): 26191-26201. doi:10.1029/2000JC000300.
- Arellano-Verdejo J., H.E. Lazcano-Hernandez, y N. Cabanillas-Terán, 2019. ERISNet: deep neural network for Sargassum detection along the coastline of the Mexican Caribbean. *PeerJ*, 7: doi:10.7717/peerj.6842.
- Arreguín-Sánchez, F., 2019. Climate change and the rise of the octopus' fishery in the Campeche Bank, Mexico. *Regional Studies in Marine Science* (en prensa).
- Behrens, M., 2013. Sargazo Nadador I (Sargassum natans). Fotografía tomada de <http://www.inaturalist.org/photos/295765> consultado el día 20 de mayo de 2019.
- Brinker, S., 2018. Sargazo Flotante III (Sargassum fluitans). Fotografía tomada de <https://www.naturalista.mx/observations/10183766> consultado el día 20 de mayo de 2019.
- Burns, K. A., y J. M. Teal, 1973. Hydrocarbons in the pelagic Sargassum community. *Deep-Sea Res.*, 20: 207-211.
- Candela, J., J. Sheinbaum, J. Ochoa, y A. Badan, 2002. Potential vorticity flux through the Yucatan Channel and the Loop Current in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 29(22). doi:2059.10.1029/2002GL015587.
- Carpenter, E. J., y J.L. Cox, 1974. Production of pelagic Sargassum and a blue-green epiphyte in the western Sargasso Sea. *Limnology and Oceanography*, 19(3): 429-436.
- Carrillo, L., E.M. Johns, R.H. Smith, J.T. Lamkin, y J.L. Largier, 2015. Pathways and hydrography in the Mesoamerican Barrier Reef System. Part 1: circulation. *Continental Shelf Research*, 109: 164-176. doi: 10.1016/j.csr.2015.09.014.
- Carrillo, L., J.T. Lamkin, E.M. Johns, L. Vásquez-Yeomans, F.E. Sosa-Cordero, FE. Malca, R.H. Smith, y T. Gerard, 2017. Linking oceanographic processes and marine resources in the western Caribbean Sea Large Marine

- Ecosystem Subarea. Environmental Development. doi:10.1016/j.envdev.2017.01.004
- Casazza, T.L., y S.W. Ross, 2008. Fishes associated with pelagic Sargassum and open water lacking Sargassum in the Gulf Stream off North Carolina. *Fishery Bulletin*, 106: 348-363.
- CEPAL, 2011. América Latina y el Caribe: indicadores macroeconómicos del turismo. Cuadernos Estadísticos, 39: 10p.
- Cerdeira-Estrada, S., M.L. Martínez-Clorio, L.O. Rosique-De La Cruz, M. Kolb, A.M. Gonzales-Posada, A. Uribe-Martínez, R. Martell-Dubois, J.R. Garza-Pérez, L. Alvarez-Filip, M.I. Cruz-López, y R. Ressler, 2018. 'Cobertura Bentónica de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche – Xcalak. 2018', escala: 1:8000. Edición: 2. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; UNAM. México.
- Cetina, P., J. Candela, J. Sheinbaum, J. Ochoa, y A. Badan, 2006. Circulation along the Mexican Caribbean coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(8): 1-19. doi:10.1029/2005JC003056.
- Chávez, G., J. Candela, y J. Ochoa, 2003. Subinertial flows and transports in Cozumel Channel. *Journal of Geophysical Research*, 108 (C2): 1-11. doi:10.1029/2002JC001456.
- Cuevas, E., A. Uribe-Martínez, M.A. Liceaga-Correa, 2018. A satellite remote-sensing multi-index approach to discriminate pelagic Sargassum in the waters of the Yucatan Peninsula, Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 39(11): 3608-3627. doi:10.1080/01431161.2018.1447162.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2018. Ley General de Vida Silvestre. Última Reforma DOF 19-01-2018.
- Djakouré S., M. Araujo, A. Hounsou-Gbo, C. Noriega, y B. Bourlès, 2017. On the potential causes of the recent Pelagic Sargassum blooms events in the tropical North Atlantic Ocean. *Biogeosciences*. doi:10.5194/bg-2017-346.
- Enfoque Noticias, 2019. Estrategia para combatir sargazo en Quintana Roo requerirá inversión de 400 mdp. (16 de mayo de 2019). Recuperado de <https://www.enfoquenoticias.com.mx/noticias/estrategia-para-combatir-sargazo-en-quintana-roo-requerir-inversi-n-de-400-mdp>.
- Expansión, 2018 El sargazo ha costado a Quintana Roo 82 mdp y le destinará 240 mdp más. (16 de agosto de 2018). <https://expansion.mx/nacional/2018/08/16/el-sargazo-ha-costado-a-quintana-roo-82-mdp-y-le-destinara-240-mdp-mas>.
- Ezer, T., D.V. Thattai, B. Kjerfve, y W.D. Heyman, 2005. On the variability of the flow along the Meso-American Barrier Reef system: a numerical model study of the influence of the Caribbean current and eddies. *Ocean Dynamics*, 55(5-6): 458-475.
- Fleury A.G., y J.C. Drazen, 2013. Abyssal scavenging communities attracted to Sargassum and fish in the Sargasso Sea. *Deep Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, 72: 141-147. doi:10.1016/j.dsr.2012.11.004.
- Flores-Vidal, X., R. Durazo, R. Castro, L.F. Navarro, F. Dominguez, y F. Gil, 2015. Fine-scale tidal and subtidal variability of an upwelling-influenced bay as measured by the Mexican High Frequency Radar Observing System. p. 209-228. In: Coastal Ocean Observing Systems México. Elsevier.
- Flores-Vidal, X., S. González-Montes, R. Zertuche-Chanes, I. Rodríguez-Padilla, C. Marti, J. Imberger, A. Mejía-Trejo, R. Durazo-Arvizu, y L. Navarro-Olache, 2018. Three-dimensional exchange flows in a semi-enclosed bay: Numerical simulations and high frequency radar observations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 210: 26-35. doi:10.1016/j.ecss.2018.05.027.
- Franks, J.S., D.R. Johnson, D. S. Ko, G. Sanchez-Rubio, J.R. Hendon, y M. Lay, 2012. Unprecedented influx of Pelagic Sargassum along Caribbean Island Coastlines during summer 2011. *Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 64: 6-8.
- Franks, J.S., D.R. Johnson, y D.S. Ko, 2016. Pelagic Sargassum in the Tropical North Atlantic. *Gulf and Caribbean Research*, 27(1): SC6-SC11. doi:10.18785/gcr.2701.08.
- Goes, J.I., H.R. Gomes, A.M. Chekalyuk, E.J. Carpenter, J.P. Montoya, V.J. Coles, P.L. Yager, W.M. Berelson, D.G. Capone, R.A. Foster, D.K. Steinberg, A. Subramaniam, y M.A. Hafez, 2014. Influence of the Amazon River discharge on the biogeography of 5 phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. *Progress in Oceanography*, 120: 29-40. doi:10.1016/j.pocean.2013.07.010
- Gower, J., y S. King, 2011. Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. *International Journal of Remote Sensing*, 32(17): 1917-1929.

- Gower, J., C. Hu, G. Borstad, y S. King, 2006. Ocean color satellites show extensive lines of floating Sargassum in the Gulf of Mexico. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(12): 3619-3625. doi:10.1109/TGRS.2006.882258
- Gower J., E. Young, y S. King, 2013. Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011. *Remote Sensing Letters*, 4(8): 764-773. doi:10.1080/2150704X.2013.796433
- Guzmán-Ramírez, A.A., E. Cuevas, A. Uribe-Martínez, y L.A. Ayala-Pérez, 2018. Análisis de la dinámica espacio-temporal de sargazo pelágico (*Sargassum* spp.) en el Caribe mexicano. En XX Congreso Nacional de Oceanografía. Mérida, México.
- Hanisak, M.D., y M.A. Samuel, 1987. Growth rates in culture of several species of Sargassum from Florida, U.S.A. *Hydrobiologia*, 151/152: 399-404. doi:10.1007/978-94-009-4057-4_59.
- Hu C. (2009). A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2118–2129. doi:10.1016/j.rse.2009.05.012.
- Hu C., 2009. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113: 2118–2129.
- Hu, C., L. Feng, R.F. Hardy, y E.J. Hochberg, 2015. Spectral and spatial requirements of remote measurements of pelagic Sargassum macro algae. *Remote Sensing of Environment*, 167: 229–246. doi:10.1016/j.rse.2015.05.022.
- Huffard, C.L., S. von Thun, A.D. Sherman, K. Sealey, y K.L. Smith Jr., 2014. Pelagic Sargassum community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*. 161(12): 2735–2751. doi: 10.1007/s00227-014-2539.
- Johnson, D.R, D.S. Ko, J.S. Franks, J.S., P. Moreno, y G. Sanchez-Rubio, 2014. The Sargassum invasion of the eastern Caribbean and dynamics of the equatorial North Atlantic. *Proceedings of the 65th annual Gulf Caribbean Fisheries Institute*, 65: 102–103.
- Johnson, D.L., y P.L. Richardson, 1977. On the wind-induced sinking of Sargassum. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 28(3):255-267. doi:10.1016/0022-0981(77)90095-8.
- Kingsford, M.J., 1993. Biotic and abiotic structure in the pelagic environment: importance to small fishes. *Bulletin Of Marine Science*, 53(2): 393-415.
- Laffoley, D.d'A., H.S.J. Roe, M.V. Angel, J. Ardron, J.N.R. Bates, I.L. Boyd, S. Brooke, K.N. Buck, C.A. Carlson, B. Causey, M.H. Conte, S. Christiansen, J. Cleary, J. Donnelly, S.A. Earle, R. Edwards, K.M. Gjerde, S.J. Giovannoni, S. Gulick, M. Gollock, J. Hallett, P. Halpin, R. Hanel, A. Hemphill, R.J. Johnson, A.H. Knap, M.W. Lomas, S.A. McKenna, M.J. Miller, P.I. Miller, P.W. Ming, R. Moffitt, N.B. Nelson, L. Parson, A.J. Peters, J. Pitt, P. Rouja, J. Roberts, D.A. Seigel, A.N.S. Siuda, D.K. Steinberg, A. Stevenson, V.R. Sumaila, W. Swartz, S. Thorrold, T.M. Trott, y V. Vats, 2011. The protection and management of the Sargasso Sea: The golden floating rainforest of the Atlantic Ocean. Summary Science and Supporting Evidence Case. Sargasso Sea Alliance, 44 p.
- Lapointe, B.E., 1995. A comparison of nutrient-limited productivity in Sargassum natans from neritic vs. oceanic waters of the western North Atlantic Ocean. *Limnology and Oceanography*, 40: 625–633. doi: 10.4319/lo.1995.40.3.0625.
- Luckhurst, B.E., 2015. Analysis of ICCAT reported catches of tunas and swordfish in the Sargasso Sea (1992-2011). Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 71(6): 2900-2912.
- Marmorino, G.G., W. D. Miller, B. Smith, y J. G. Bowles, J2011. Airborne imagery of a disintegrating Sargassum drift line. Deep Sea Research Part I: *Oceanographic Research Papers*, 58: 316-321. doi:10.1016/j.dsr.2011.01.001.
- McKeon, S. (2012). A World Adrift: Life in the Sargassum. Smithsonian Ocean Find your blue. Fotografías tomadas de <https://ocean.si.edu/ocean-life/invertebrates/world-adrift-life-sargassum> consultado el día 20 de mayo de 2019.
- Meyer-Reil, L.A., y M. Köster, 2000. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin*, 41: 255-263. doi:10.1016/S0025-326X(00)00114-4.
- Oschiles, A., 2001. NAO-induced long-term changes in nutrient supply to the surface waters of the North Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 28(9): 1751-1754. doi:10.1029/2000GL012328.
- Powers, S.P, F.J. Hernandez, R.H. Condon, J.M. Drymon, y C.M. Free, 2015. Novel pathways for injury from offshore oil spills: direct, su-

- blethal and indirect effects of the Deepwater Horizon oil spill on pelagic *Sargassum* communities. *PLoS ONE*, 8(9). doi:10.1371/journal.pone.0074802.
- Rodríguez-Martínez, R., B. Tussenbroek, y E. Jordán-Dahlgren, 2016. Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015). p. 352-365. En E. García-Mendoza., S.I. Quijano-Scheggia., A. Olivos-Ortiz., & E.J. Núñez-Vázquez (Eds.), *Florecimientos algales nocivos en México*CICESE.
- Rooker, J.R., J.P. Turner, y S.A. Holt, 2006. Trophic ecology of *Sargassum* associated fishes in the Gulf of Mexico determined from stable isotopes and fatty acids. *Marine Ecology Progress Series*, 313: 249-259. doi: 10.3354/meps313249.
- Schell, J.M., D.S. Goodwin, y A.N.S. Siuda, 2015. Recent *Sargassum* inundation events in the Caribbean: Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*, 28(3): 8-10. doi:10.5670/oceanog.2015.70.
- Sehein, T., A.N.S. Siuda, T.M. Shank, y A.F. Govindarajan, 2014. Connectivity in the slender *Sargassum* shrimp (*Latreutes fucorum*): Implications for a Sargasso Sea protected area. *Journal of Plankton Research*, 36(6): 1408-1412. doi:10.1093/plankt/fbu081.
- Smetacek, V., y A. Zingone, 2013. Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*. 504(7478): 84-88. doi: 10.1038/nature12860.
- South Atlantic Fishery Management Council (SAFMC), 2002. Fishery management plan for pelagic *Sargassum* habitat of the South Atlantic Region. South Atlantic Fishery Management Council, 4699, 228. doi:10.1007/BF00446711.
- Stoner, A.W., y H.S. Greening, 1984. Geographic variation in the macrofaunal associates of pelagic *Sargassum* and some biogeographic implications. *Marine Ecology Progress Series*, 20:185-192. doi:10.3354/meps020185.
- Tedesco, M., X. Fettweis, T. Mote, J. Wahr, P. Alexander, J. Box, y B. Wouters, 2013. Evidence and analysis of 2012 Greenland records from spaceborne observations, a regional climate model and reanalysis data. *The Cryosphere Discussions*, 7(2): 6015-630.4939-4976. doi:10.5194/tc-7-615-2013
- Thiel, M., y C. Fraser, 2016. The role of floating plants in dispersal of biota across habitats and ecosystems. En E. Olafsson (Ed.), *Marine macrophytes as foundation species*.(pp.76-94). CRC Press, Taylor & Francis Group. doi:10.4324/9781315370781-5.
- Uribe-Martínez, A., M.A. Liceaga-Correa, E. Cuevas, H. Hernández-Núñez, y D. Espinoza-Punch, 2016. Discriminación multi-índice de sargazo pelágico en el 2015 al noreste de la Península de Yucatán. En *Memorias del XIX Congreso Nacional de Oceanografía*. Congreso llevado a cabo en Ciudad de México, México.
- Uribe-Martínez, A., M.A. Liceaga-Correa, y E. Cuevas, 2016. Detección de sargazo pelágico en el Caribe mexicano durante los años 2014 y 2015. En *Foro Iberoamericano CARIBero*, S. O. S. 2016. Congreso llevado a cabo en Playa del Carmen, Quintana Roo, México.
- Van-Tussenbroek, B., H.A. Hernández-Arana, R.E. Rodríguez-Martínez, J. Espinoza-Avalos, H.M. Canizales-Flores, C.E. González-Godoy, M.G. Barba-Santos, A. Vega-Zepeda, y L. Collado-Vides, 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122: 272-281. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.06.057.
- Varillas, A., 2019. Limpieza de sargazo costó 322 mdp en 2018. *El Universal*. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/estados/limpieza-de-sargazo-costo-322-mdp-en-2018>.
- Wang, M., y C. Hu, 2016. Mapping and quantifying *Sargassum* distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, 183: 350-367. doi: 10.1016/j.rse.2016.04.019.
- Webster, R.K., y T. Linton, 2013. Development and implementation of *Sargassum* Early Advisory System (SEAS). *Sore & Beach*, 82(3).
- Wells, R.J.D., y J.R. Rooker, 2004. Spatial and temporal patterns of habitat use by fishes associated with *Sargassum* mats in the northwestern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 74: 81-99.
- Williams, A., y R. Feagin, 2010. *Sargassum* as a natural solution to enhance dune plant growth. *Environmental Management*, 46: 738-747. doi:10.1007/s00267-010-9558-3.
- Witherington, B., S. Hiram, y R. Hardy, 2012. Young sea turtles of the pelagic *Sargassum* dominated drift community: habitat use, population density, and threats. *Marine Ecology Progress Series*, 463: 1-22. doi: 10.3354/meps09970.

Evaluaciones de impacto ambiental y su coincidencia con hábitats de tortugas marinas en la península de Yucatán, México

*E. Cuevas, C. Díaz-Aguilar,
M. Andrade Hernández y J. J. Guerra-Santos*

Resumen

Las Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA) son una herramienta para que los tomadores de decisiones tengan elementos y criterios para la protección del ambiente. Éstas evalúan las modificaciones potenciales y reales que causaría un proyecto al ambiente en donde se realizará, y con base en las especificaciones y criterios de la legislación ambiental mexicana el proyecto es autorizado, negado o condicionado para su ejecución. En nuestro país, y en particular en la península de Yucatán, el desarrollo

de infraestructura turística y urbana en nuestras costas tiene un crecimiento acelerado, el cual debe ser aprobado bajo un proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), dado que es posible que se pongan en riesgo diversas especies de vida silvestre, así como sus ecosistemas asociados. En este contexto, el objetivo de este estudio fue analizar y evaluar los resolutiveos de Manifestaciones de Impacto Ambiental tanto aprobadas y rechazadas sometidas para proyectos en la zona costera de los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, durante el período 2009-2013, disponibles en el portal electrónico de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales tomando en consideración si incluyeron la implementación de medidas de mitigación y protección de tortugas marinas cuando los proyectos se desarrollaron en sus hábitats crítico, en particular la proporción de MIA aprobadas. Se obtuvieron estadísticas descriptivas de resumen y se generaron mapas temáticos con la distribución de los datos colectados. En el período de estudio en Yucatán se sometió el mayor número de MIA (59 %), y en general la mayoría de los proyectos sometidos a evaluación correspondieron a infraestructura habitacional (49 %), y el 80 % de los proyectos fue aprobado en la región durante el período evaluado. Sólo 31 % de los resolutiveos de las MIA en zona costera, donde las tortugas marinas anidan, incluyeron acciones de mitigación para la protección de los individuos de tortugas marinas y sus hábitats. A nuestro saber, este es el primer estudio de esta naturaleza realizado para la región sureste de México. Se resalta la necesidad de una mejor comunicación y coordinación entre los tomadores de decisiones y demás actores en el estudio y conservación del ambiente costero y marino, para que el flujo de información básica para la toma de decisiones informada y robusta ocurra de la mejor forma, y que los qué haceres y productos de los sectores involucrados directa e indirectamente potencialicen al máximo el cuidado de la biodiversidad en sus tres niveles de organización.

Palabras Clave: condicionantes ambientales, gestión ambiental, toma de decisiones, tortuga blanca, tortuga carey.

Introducción

Las tortugas marinas son especies marinas altamente migratorias con un ciclo de vida complejo que involucra diversos hábitats marinos y terrestres que son críticos para que completen sus diferentes estadios de vida (Spotila, 2004). Además, son especies de maduración sexual tardía y son longevas, lo que en conjunto con su ciclo de vida las hace especies vulnerables a numerosas amenazas de origen natural y humano (Bolten *et al.*, 2011; Valverde y Holzwart, 2017).

Estas especies son consideradas como *carismáticas* (son del agrado de la comunidad en general por su apariencia), *indicadoras* (dada su vulnerabilidad a numerosas amenazas funcionan como un indicador de las condiciones de los hábitats que ocupan), *bandera* (representativas de hábitats particulares como son los arrecifes de coral y las playas arenosas, además de ser representativas de la mega biodiversidad de México) y

sombrilla (las acciones de conservación de sus poblaciones y hábitats contribuyen a conservar otras especies y espacios asociados a ellas) (Eckert y Hemphill, 2005; Frazier, 2005).

Dados los decrementos dramáticos que han sufrido sus poblaciones a nivel mundial, y en particular en México (Valverde y Holzward, 2017), todas las especies de tortugas marinas están protegidas de manera directa por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General de Vida Silvestre y la NOM-059-SEMARNAT-2010. Adicionalmente tienen alguna protección por la NOM-029-PESC-2006 y en cuestiones de su conservación por la NOM-162-SEMARNAT-2012.

A nivel internacional México es signatario de tratados internacionales en los cuales se compromete a implementar acciones para la conservación de sus poblaciones y hábitats críticos. En particular la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) y por la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT).

Con todas estas características biológicas y jurídicas que rodean a las tortugas marinas, en México estos organismos son considerados Especies Prioritarias para la Conservación por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (Diario Oficial de la Federación, 2014; Valera-Bermejo *et al.*, 2016).

Todo este contexto de protección y esfuerzos de conservación para la recuperación de las tortugas marinas tiene como una de las principales razones la restauración de sus poblaciones para mantener la diversidad biológica en nuestro país y sostener la función ecológica que desempeñan

durante sus diferentes estadios de vida en los hábitats críticos que ocupan (nicho ecológico).

En el mundo existen siete especies de tortugas marinas, de las cuales seis utilizan hábitats marinos y terrestres en México. Estas especies son la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), laúd (*Dermochelys coriacea*), lora (*Lepidochelys kempii*), caguama (*Caretta caretta*), verde o blanca (*Chelonia mydas*) y golfina (*Lepidochelys olivacea*) (Valverde y Holzward, 2017).

Una de las principales funciones que desempeñan las especies de tortugas marinas, en particular por la tortuga carey, es el consumo de esponjas (organismos potencialmente nocivos para arrecifes coralinos cuando existe un desequilibrio ecosistémico), y contribuyen al equilibrio dinámico en estos ambientes que mantienen importantes pesquerías alrededor del mundo. También la recirculación de nutrientes y renovación de praderas de pastos marinos (importantes fijadores de sedimento marino) por el forrajeo de individuos de tortuga blanca; así como el control de poblaciones de medusas que pueden desequilibrar ecosistemas pelágicos y afectar poblaciones de especies de interés pesquero a nivel mundial (Bjorndal y Jackson, 2002; Burkholder *et al.*, 2011; Lazar *et al.*, 2011; Goatley *et al.*, 2012).

De igual forma, con la puesta de huevos en playas de anidación, de los cuales no todos se encuentran fertilizados y no todos los embriones y crías producidas emergerán para entrar al mar, contribuyen a inyectar materia orgánica y fertilizar dunas costeras que se caracterizan por su bajo contenido orgánico (Hannan *et al.*, 2007).

Estas son algunas de las funciones que desempeñan las tortugas marinas en los ambientes que ocupan, por lo que su con-

servación y recuperación tiene una trascendencia mayor a la de la recuperación de un grupo de especies *per se* en nuestro planeta.

De manera particular, en la península de Yucatán anidan cinco de estas especies, la carey, verde o blanca, caguama, lora y laúd (Cuevas *et al.*, 2018). En los últimos años se han registrado algunos varamientos aislados de tortugas golfinas en el estado de Quintana Roo (*Com. Pers.* Comité Estatal para la Conservación de Tortugas Marinas en Quintana Roo). Dada la presencia de prácticamente todas las especies de tortugas marinas en las playas y zonas marinas aledañas de la península de Yucatán, esta región es estratégica y clave para la conservación y recuperación de sus poblaciones.

Los documentos oficiales que contienen las estrategias para la recuperación de estas especies se llaman Plan de Acción para la Conservación de Especies (PACE), en los cuales se reconoce y jerarquiza una serie de amenazas para las poblaciones de tortugas marinas¹. Entre las principales se encuentran las barreras físicas en la playa (espigones, rompeolas, muelles, geotextiles, tetrápodos, entre otros), infraestructura turística (hoteles, bares, marinas, condominios), urbanización (obra civil habitacional, vías de comunicación, alumbrado público), cambios en la morfología de playa (por causas naturales y por intervención humana) y malas prácticas pesqueras.

Las primeras tres amenazas antes mencionadas implican la construcción de obra civil y para lo cual se requiere de una autorización por las autoridades federales en materia de impacto ambiental. La cuarta, cambios en la geomorfología de la playa,

también implica la necesidad de contar con una autorización de impacto ambiental cuando se trata por intervención humana.

En este contexto, es que se identificó como una necesidad contribuir en el fortalecimiento de capacidades profesionales de autoridades ambientales involucradas en la evaluación de Manifestaciones de Impacto Ambiental, con el fin de poner a su disposición información biológica y ecológica clave sobre tortugas marinas para su mejor protección y la de sus hábitats.

Lo que sabemos sobre la Evaluación de Impacto Ambiental

De acuerdo a lo que establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y su Reglamento en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental (R-LGEEPA-MEIA), los estudios de impacto ambiental (EIA) son una herramienta para los tomadores de decisiones en las que se valoran las modificaciones negativas que alguna obra o actividad humana pueda producir al ambiente, para autorizar o negar la posibilidad jurídica de su realización (SEMARNAT-INE, 2012). Esta herramienta de política ambiental en México, con incidencia directa en las actividades productivas, tiene como objetivo prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente y a los recursos naturales del país.

Se espera que las MIA ayuden a garantizar la protección, mantenimiento y rehabilitación de los hábitats naturales y de sus funciones en el contexto de los proyectos de campo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación

¹<https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programa-de-recuperacion-y-repoblacion-de-especies-en-riesgo-procer-113135>

(FAO, por sus siglas en inglés) y el diálogo de políticas con los países (SEMARNAT-INE, 2012; FAO, 2012).

La evaluación de una MIA la realiza la autoridad mediante un procedimiento de tipo técnico administrativo. El estudio sometido a evaluación debe contener información de fuentes autorizadas en donde se expongan las evidencias relacionadas a las alteraciones esperadas por parte del proyecto y a la capacidad de carga del ambiente del área donde se ubica el proyecto (SEMARNAT, 2000).

Existen de manera general dos modalidades para presentar las Manifestaciones de Impacto Ambiental la Particular y la Regional, además, de manera adicional la consideración de que si en los trabajos que se van a desarrollar incluyen o no actividades consideradas como riesgosas (DOF, 2018).

De acuerdo al artículo 5 del R-LGEEPA-MEIA, las MIA son obligatorias, en particular para la protección de los recursos naturales, cuando se trata de alguna de las siguientes situaciones:

“...aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración; plantaciones forestales; cambios de uso del suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas; desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros; obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales, obras en áreas naturales protegidas; actividades pesqueras que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas; actividades acuícolas que puedan poner en peligro la preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas; actividades agropecuarias que puedan poner en peligro la

preservación de una o más especies o causar daños a los ecosistemas”.

En caso de que los gobiernos municipales o estatales pretendan realizar obras o alguna actividad contemplada o prevista en sus Planes de Desarrollo Urbano o de Ordenamiento Ecológico del Territorio, no solamente están obligados a presentar la MIA, sino también a un informe preventivo de las implicaciones que pueden tener las obras y actividades (DOF, 2018)

Una vez elaborada y presentada la MIA a la autoridad correspondiente, que deberá incluir: la manifestación de impacto ambiental como tal; un resumen del contenido de la manifestación de impacto ambiental, presentado en un medio electrónico y el pago de derechos. La SEMARNAT la someterá a proceso de evaluación y entregará el resultado de la evaluación al promovente que presentó la solicitud, en alguno de los siguientes términos: autorizado y no autorizado, en el caso de lo primero a autorización puede ser en los términos en los que se presentó la solicitud de la MIA y bien la autorización de manera condicionada por lo que la MIA, se debe ajustar para poderse llevar a cabo (DOF, 2018).

El establecimiento de estas condicionantes tiene como fundamento lo establecido en el artículo 5 de la Ley General de Vida Silvestre en Materia de Vida Silvestre y su Hábitat, el cual especifica:

“El objetivo de la política nacional en materia de vida silvestre y su hábitat, es su conservación mediante la protección y la exigencia de niveles óptimos de aprovechamiento sustentable, para que simultáneamente se logre mantener y promover la restauración de su diversidad e integridad, así como incrementar el bienestar de los habitantes del país”

Para tal finalidad, en su fracción II faculta a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), estableciendo:

“Las medidas preventivas para el mantenimiento de las condiciones que propician la evolución, viabilidad y continuidad de los ecosistemas, hábitats y poblaciones en sus entornos naturales, resaltando que en ningún caso la falta de certeza científica se podrá argumentar como justificación para postergar la adopción de medidas eficaces para la conservación y manejo integral de la vida silvestre y su hábitat”.

Adicionalmente, en el tema de tortugas marinas se toma en consideración el artículo 60 Bis 1 (DOF del 26 de junio del 2006 de la Ley General de Vida Silvestre), por el que se establece:

“Ningún ejemplar de tortuga marina, cualquiera que sea la especie, podrá ser sujeto de aprovechamiento extractivo, ya sea de subsistencia o comercial, incluyendo sus partes y derivados”.

A la vez, se reconoce que todas las especies de tortuga marina al ser migratorias son un recurso compartido por diferentes países, por lo que México es signatario ratificado de acuerdos y convenios internacionales para conservarlas. También se reconoce que el mantenimiento de la integridad del hábitat de anidación es condición clave para la sobrevivencia de las especies de tortugas marinas, por lo que, es indispensable llevar a cabo acciones para evitar la destrucción, fragmentación o degradación de las condiciones biológicas, químicas y físicas del hábitat de anidación, tales como la dinámica natural de acumulación de arena y de los flujos hídricos que aseguran la humedad, salinidad y temperatura adecuadas para la incubación, que la realización de obras o actividades en el hábitat de anidación están sujetas a la autorización en materia de

evaluación del impacto ambiental, de conformidad con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Finalmente, otro de los fundamentos mencionados en los resolutivos con condicionantes específicas para la protección de las tortugas marinas y sus hábitats se hace referencia a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-059-SEMARNAT-2010 y NOM-162-SEMARNAT-2012 que establecen la protección ambiental y de especies nativas de México de flora y fauna silvestres con categorías de riesgo, y las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación, respectivamente.

Lo que sabemos de las tortugas marinas

La península de Yucatán alberga algunas de las poblaciones más importantes a nivel mundial (Spotila, 2004; Mortimer y Donnelly, 2007), y en particular se encuentran a las especies carey (*Eretmochelys imbricata*), verde/blanca (*Chelonia mydas*), caguama (*Caretta caretta*), la tortuga lora (*Lepidochelys kempfi*) y tortuga laúd (*Dermodochelys coriacea*) (López-Gonzalez, 1999; SEMARNAT, 2000; Guzmán-Hernández *et al.*, 2007; Herrera-Pavón, 2011; Cuevas y Garduño-Andrade, 2014).

Las costas de la península de Yucatán son un hábitat crítico para las poblaciones anidantes de tortuga carey (Mortimer y Donnelly, 2007), y su zona marina es un importante corredor migratorio para las tortugas carey, blanca y caguama (Garduño *et al.*, 2000; Cuevas *et al.*, 2008; Cuevas *et al.*, 2012; Mendez *et al.*, 2013). Hembras carey que anidan en Campeche migran en dirección al oriente para alcanzar sus áreas

de alimentación en el Caribe Mexicano; mientras que hembras que anidan en el norte de Quintana Roo y oriente de Yucatán migran en dirección poniente hacia sitios en el norte del golfo de México, utilizando el mismo corredor.

Por su parte, Quintana Roo es el único estado de la península en el que casi la totalidad de su costa está reglamentada a través de decretos de áreas naturales protegidas federales y estatales, así como por los Programas de Ordenamiento Ecológico Local (POEL), instrumentos de planeación diseñados para orientar las actividades de producción así como el uso de los recursos naturales (Presas-Hernández, 2001).

La importancia de la costa y mares de la península de Yucatán para las tortugas adquiere mayor relevancia por los proyectos de desarrollo que son sometidos a evaluación de impacto ambiental en la costa y zona marina, así como la necesidad de tener en cuenta la fragilidad y estatus en peligro de extinción de estas especies al momento de definir las condicionantes que apliquen para los EIA.

Los problemas que se suscitan en este tema

Modificaciones a los hábitats críticos de anidación y alimentación de tortugas marinas provocan alteraciones de comportamiento, supervivencia y éxito reproductivo a sus poblaciones y hábitats, por lo que la ejecución de proyectos de desarrollo al interior o en la vecindad de estos hábitats críticos representa una fuente de presión directa que compromete el éxito de las acciones de restauración implementadas para sus poblaciones (Fish *et al.*, 2008, Bolten *et al.*, 2011; Witherington *et al.*, 2011).

La vinculación entre los especialistas en tortugas marinas y los tomadores de decisiones tendría que ser un procedimiento estandarizado y usual para una gestión ambiental armonizada entre desarrollo y conservación. Herramientas como la EIA son cruciales en la legislación mexicana, brindando herramientas vinculantes para la protección de estas poblaciones en peligro de extinción, a la vez que permiten el trabajo coordinado y estrategias para minimizar y mitigar los impactos potenciales por desarrollos sobre hábitats críticos.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo general evaluar los resultados de la resolución de manifestaciones de impacto ambiental sometidas para la zona costera y marina en los tres estados de la península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo) entre los años 2009 y 2013, así como conocer la inclusión de términos específicos de protección y restauración de las poblaciones y hábitats de tortugas marinas en los resolutivos de condicionantes particulares.

Como objetivos particulares se tuvo (1) la cuantificación de MIA reportadas como sometidas y relacionadas con ambientes marinos y costeros en la península de Yucatán en el período de estudio; (2) construir una geodatabase con la ubicación geográfica y atributos básicos que describan los proyectos evaluados con estas MIA, incluyendo el resolutivo final por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; y (3) evaluar la coincidencia espacial de la ubicación de los proyectos de las MIA con área críticas de anidación de tortugas marinas en la región.

Métodos

Se examinaron los proyectos de MIA sometidos del 2009 al 2013 para los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, publicados en el portal de la SEMARNAT en el 2014, cuando se completó este estudio. Actualmente este tipo de información se encuentra en el mismo portal de la SEMARNAT (www.semarnat.gob.mx), en la sección [Trámites], Categoría [Ambiente], en la sección [Impacto y Riesgo Ambiental]. Particularmente se revisaron los resolutivos de las MIA particulares y regionales que incluyen riesgos (modalidad A), y ubicadas exclusivamente en la zona marina y costera de la región.

De cada uno de los resolutivos se extrajo el nombre entidad de gestión, ubicación del proyecto, descripción de la zona y tipo de la actividad a evaluar. Para los proyectos aprobados se hizo una revisión de las condicionantes especificadas, buscando en particular aquellas para la protección de los individuos de tortugas marinas y sus hábitats.

Con la información extraída se elaboró una base de datos con la cual se obtuvieron medidas de estadística descriptiva de las MIA por año y por estado, por tipo de actividad, por autorización y por condicionantes para tortugas marinas y sus hábitats.

Zonas críticas de anidación de tortugas marinas

González-Garza *et al.* (2010) y Cuevas-Flores y Liceaga-Correa (2014) identificaron zonas críticas de anidación de tortugas marinas en las costas de Campeche y Yucatán, respectivamente. Entre las principales amenazas que señalan estos estudios están el de-

sarrollo urbano y turístico mal planificado, así como proyectos que se construyen sobre dunas costeras, eliminan la vegetación local, contaminación lumínica por alumbrado de inmuebles, modificaciones de perfil de playa, entre otros.

Se utilizó la cartografía publicada en estos estudios para identificar aquellos proyectos cuyas MIA fueron aprobadas dentro de las zonas de anidación, diferenciadas por tipo de actividad y resaltando aquellas que contienen o no condicionantes para tortugas marinas.

Para el estado de Quintana Roo, no existe cartografía pública en la que se identifiquen las zonas críticas de anidación de tortugas, aunque sí se sabe que en su litoral existen más de 60 playas que son utilizadas por cuatro especies de tortugas para anidar; la tortuga verde/blanca (*C. mydas*), la tortuga caguama (*C. caretta*), la tortuga carey (*E. imbricata*), y la tortuga laúd (*D. coriacea*) (Piniak y Eckert, 2011).

A partir de información pública de la ubicación de los centros de las playas (<http://seamap.env.duke.edu/swot>) se generó un mapa de la distribución de sus playas, y se consideró como zonas críticas las playas índice en la entidad, las cuales se eligieron como zonas críticas (Cuevas *et al.*, 2018).

Utilizando esta información espacial se generaron mapas con la distribución de los proyectos para los cuales se sometieron las MIA de las zonas marina y costera de la península de Yucatán, categorizándolos por entidad y tipo de actividad, así como por el contenido o no de condicionantes para las tortugas marinas y sus hábitats y su ubicación respecto a zonas críticas de anidación.

¿Cuál es la situación regional?

El número de MIA Particulares Modalidades A y B registradas en el período evaluado (del 2009 al 2013) en los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo varió entre dos y más de 400 proyectos sometidos y evaluados por entidad (tabla 1). El número de MIA Particulares Modalidad B (sin riesgo) fue mínimo, por lo que se optó por analizar únicamente las de Modalidad A (con riesgo).

Del número total de MIA Particulares Modalidad A evaluadas para el estado de Campeche 18 % (64), en Yucatán 59 % (242) y Quintana Roo el 41 % (188), siendo esta última entidad en la que se evaluó el mayor número de MIA distribuidas en la franja de interés (figura 1).

Para el estado de Campeche el número de MIA Particulares ubicadas en la zona marino costera fue reducido, siendo en el año 2009 cuando se registró el mayor número de proyectos evaluados (24) (figura 2a). Para el estado de Yucatán el mayor número de MIA Particulares sometidas a evaluación fue en el año 2011 (115), de las cuales el 39 % de los proyectos se ubicaba en la zona marino-costeras. En los años 2009, 2010 y

2012 el número de MIA fue menor en comparación al año 2011; sin embargo, fue en estos años cuando un mayor porcentaje de los proyectos se localizó en la zona marino-costera (72 %, 70 % y 60 %, respectivamente). En el año 2013 fue el año con la menor cantidad de MIA distribuidas en la zona marino-costera (figura 2b). Mientras tanto, en Quintana Roo el año con el mayor número de MIA fue el 2011; sin embargo, en este año se registró una de las menores proporción de MIA ubicadas en la zona marino costera (32 %) (figura 2c). Por el contrario, a pesar de que en el año 2009 el número de MIA sujetas a evaluación fue el más bajo, fue el año en el que se registró el mayor porcentaje de manifestaciones en la zona marino costera (64 %).

De manera general, el estado de Yucatán es en donde se sometió un mayor número de MIA en la zona marino-costera, con la única excepción en el año 2013 cuando en Quintana Roo se registró el mayor número de toda la región (figura 2d).

Las MIA evaluadas en las zonas marina y costera de la península de Yucatán fueron de diferente naturaleza en lo que respecta a

Tabla 1. Distribución por entidad y año de los proyectos de MIA Particulares que se evaluaron para ambientes marinos y costeros en el período entre 2009 al 2013 en los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

AÑO	MIA Particular MOD. A: No incluye riesgo			MIA Particular MOD. B: Incluye riesgo		
	Yucatán	Q. Roo	Campeche	Yucatán	Q. Roo	Campeche
2009	83	62	58	0	0	0
2010	73	77	57	3	0	0
2011	115	121	68	0	0	0
2012	69	95	88	0	1	1
2013	71	98	74	0	1	1
Total	411	453	345	3	2	2

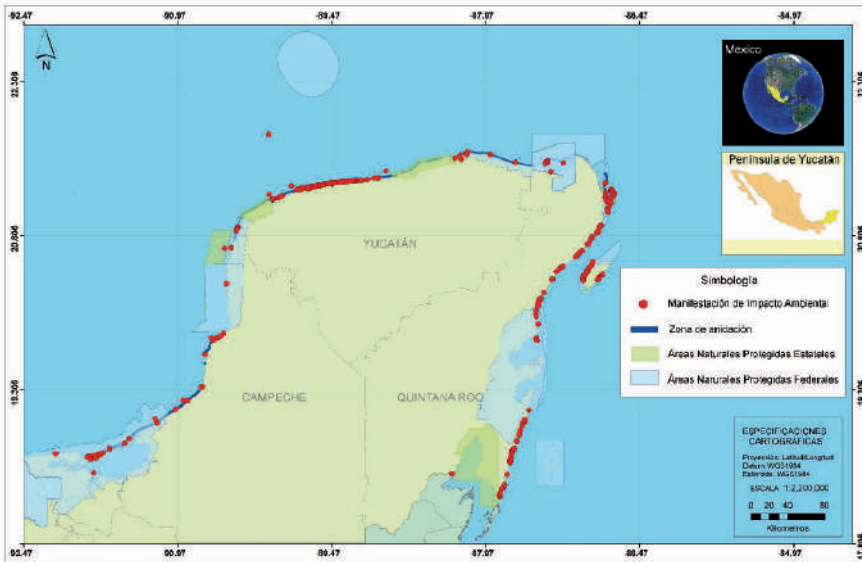


Figura 1. Distribución espacial de los proyectos para los cuales se elaboraron MIA Particulares Modalidad A en la zona marino costera en la península de Yucatán en el período 2009 - 2013.

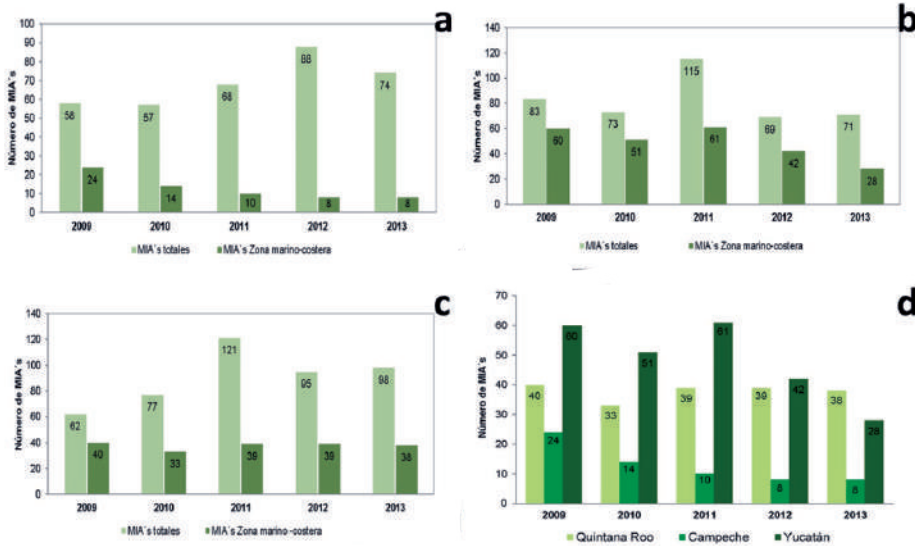


Figura 2. Comparación del número de MIA Particulares (Modalidad A) totales y de la zona marina y costera por año para el estado de Campeche (a), Yucatán (b), Quintana Roo (c), y un resumen comparativo entre entidades por año de sólo el número de MIA's en zona marina y costera (d).

los tipos de actividades propuestas. El mayor porcentaje de proyectos fue de actividades relacionadas a infraestructuras de tipo habitacional (49 %), incluyendo la construcción de casas de playa; el segundo tipo de actividad fue la infraestructura turística, como construcción de hoteles y restaurantes con el 21 %; y con el 17 % la construcción, reconstrucción o rehabilitación de marinas, muelles y malecones (figura 3).

Por el contrario, aquellos proyectos de actividades con porcentajes menores al 5 %

fueron las estructuras de protección costera (geotubos), arrecifes artificiales (tipo *Reef balls*), desazolves y dragados, laboratorios para el cultivo de organismos marinos y plantaciones (figura 3).

El análisis de los resolutivos de los proyectos evaluados a través de sus MIA en las zonas marina y costera muestra que cerca del 80% de los proyectos evaluados fueron autorizados, con un máximo de 30 % de proyectos rechazados de manera particular en el estado de Quintana Roo (figura 4).

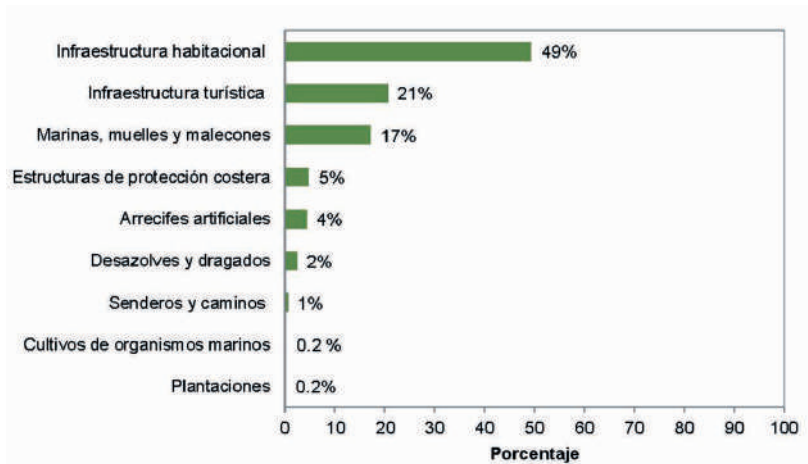


Figura 3. Distribución en porcentaje de la frecuencia de ocurrencia de los proyectos con MIA Particular Modalidad A sometidas a evaluación para las zonas marina y costera de la península de Yucatán, diferenciados por tipo de actividad.

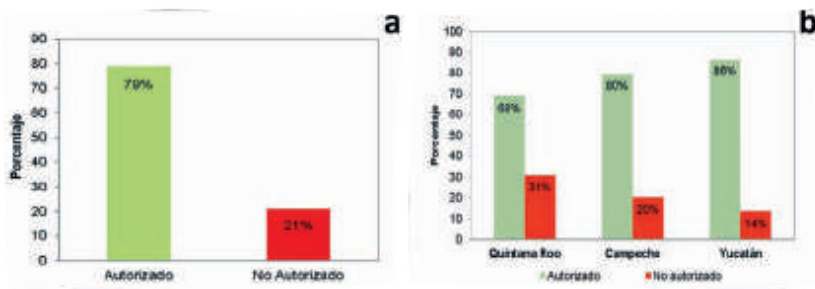


Figura 4. Distribución de porcentajes de MIA autorizadas y no autorizadas para proyectos en zonas marina y costera en la península de Yucatán en general (a) y por entidad (b) en el período de evaluación 2009-2013.

Los indicadores y alcances para monitorear el problema

De manera general, para toda la península de Yucatán de los resolutivos de proyectos evaluados y autorizados para las zonas marina y costera, sólo cerca del 31 % incluyeron condicionantes de manera específica para la protección de las poblaciones de tortugas marinas y sus hábitats críticos.

En un análisis por entidad federativa, en Campeche el 80 % de los proyectos evaluados fueron autorizados y únicamente el 20 % no fue autorizado (figura 5a). En el 2013 todos los proyectos sometidos para la zona marino costera fueron aprobados, mientras que en el 2009, 2010 y 2012 no autorizaron menos del 25 % de los proyectos sometidos (figura 5b).

Los municipios costeros de Campeche, Champotón y Carmen concentran la mayor densidad de población de la entidad (Plan Estatal de Desarrollo 2009-2015). Se sugiere que esta condición de mayor desarrollo en la zona costera contribuyó a que el número de MIA sometidas para las zonas marina y costera se concentraran principalmente en los municipios de ciudad del Carmen y Campeche, que son las dos ciudades costeras más desarrolladas (figura 6).

El 39 % de las MIA evaluadas se relacionaron con actividades para la construcción y reconstrucción de marinas, muelles y malecones; mientras que el 17 % fue sobre infraestructura habitacional, 14 % sobre infraestructura turística y desazolves y dragados; y en porcentajes menores al 8 % con actividades relacionadas a estructuras de protección costera y arrecifes artificiales. Aquellos proyectos relacionados con la construcción de marinas y muelles se concentran en los municipios de Carmen y Campeche, ya que en ellos se localizan importantes puertos industriales tanto de producción petrolera como pesquera (figura 7).

Por otro lado, la mayor parte de los proyectos relacionados a desazolves y dragados se concentraron en Ciudad del Carmen (principalmente en las desembocaduras y bocas de la laguna de Términos) (Plan Estatal de Desarrollo, 2009-2015; Schifter *et al.*, 2015; López-Portillo *et al.*, 2017; Nava-Fuentes *et al.*, 2018) (figura 7).

Dadas las grandes ciudades en la zona costera de este estado, se asume natural que el segundo tipo de actividad con mayor porcentaje de proyectos autorizados para el estado fue la infraestructura habitacional

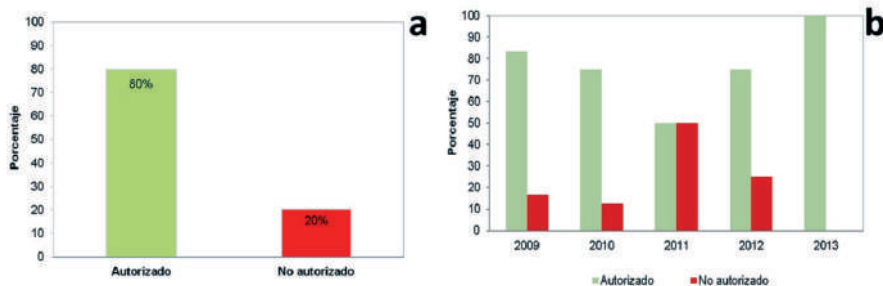


Figura 5. Distribución de los porcentajes de MIA Particulares (Modalidad A) autorizadas y no autorizadas para las zonas marina y costera del estado de Campeche del año 2009 al 2013 e n conjunto (a) y por año evaluado (b).

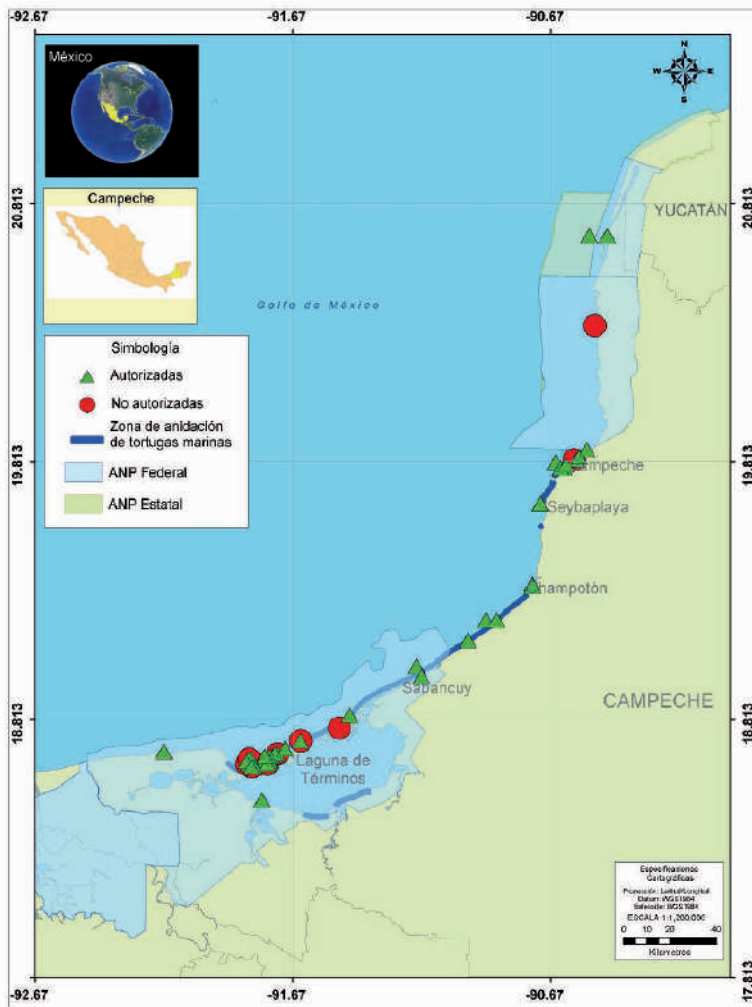


Figura 6. Distribución espacial de los proyectos sometidos a evaluación con MIA Particulares Modalidad A aprobados o no para el estado de Campeche durante los años 2009 - 2013.

y turística concentrados principalmente en Ciudad del Carmen y en Campeche.

Como en casi todas las regiones del golfo de México, en la costa de Campeche, malas prácticas de pesca han contribuido en algunas ocasiones a que los recursos pesqueros se vean mermados seriamente y la población local se vea afectada económicamente, por lo que una de las opciones de apoyo que ha implementado el gobierno es la ins-

talación de arrecifes artificiales para contribuir con alternativas económicas (turismo de bajo impacto) y a reforzar aspectos de reclutamiento de comunidades de peces de interés comercial (Ferreira *et al.*, 2005; Gallaway *et al.*, 2009; Avilés-Ramírez *et al.*, 2016; Streich 2016).

Toda la zona costera del estado de Campeche es altamente susceptible a la erosión ocasionada por el paso de los huracanes,

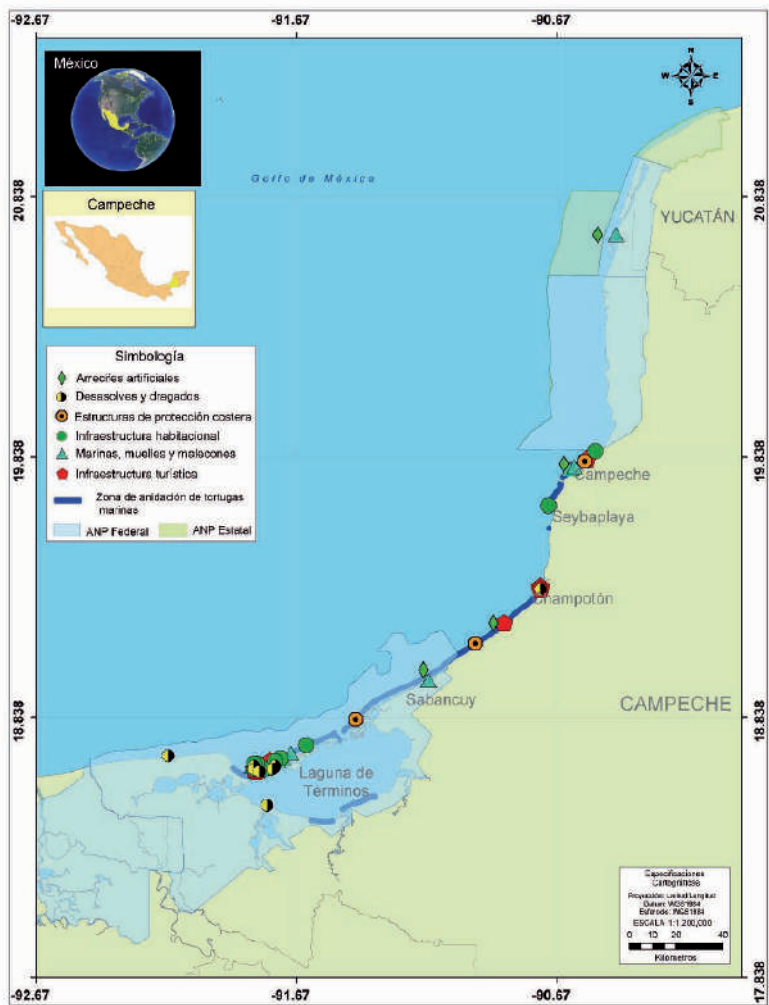


Figura 7. Distribución espacial de los proyectos que se sometieron a evaluación con MIA Particulares (Modalidad A) en el estado de Campeche durante los años 2009-2013 diferenciadas por el tipo de proyecto o actividad.

por las corrientes marinas, por la acción de las olas y vientos, por las modificaciones en el nivel del mar ocasionado por el calentamiento global y el cambio climático y por los asentamientos costeros múltiples. La erosión determina el retroceso y la modificación de la línea de costa y es la principal causa de la destrucción de playas del litoral. En Campeche, el litoral ha

alcanzado tasas de erosión promedio de 7 m/año (Ortiz-Pérez, 1992; Bolongaro *et al.*, 2010), por ello la implementación de estructuras de protección costera ha sido una opción altamente socorrida en la entidad (Canul-Turriza *et al.* 2018; Valderrama-Landeros *et al.*, 2019).

A pesar de que una gran parte del litoral del estado de Campeche se encuentra bajo

algún régimen de protección, los resolutive no reflejan la misma preocupación aún cuando muchos de los proyectos autorizados se encuentran dentro de áreas naturales protegidas con playas de anidación de tortugas marinas. Únicamente el 24 % de los resolutive incluyen de forma directa condicionante para la protección de las poblaciones de tortugas marinas y sus hábitats en esta entidad (figura 8).

Es importante mencionar que aunque la mayoría de los los proyectos aprobados y ubicados en zonas importantes de anidación de tortugas marinas no se les solicita la implementación de condicionante específico para tortugas marinas, sí mencionan de manera general aspecto de cuidado de los patrones de comportamiento de los recursos biótico y/o algún tipo de afectación, daño o deterioro sobre los elementos abió-

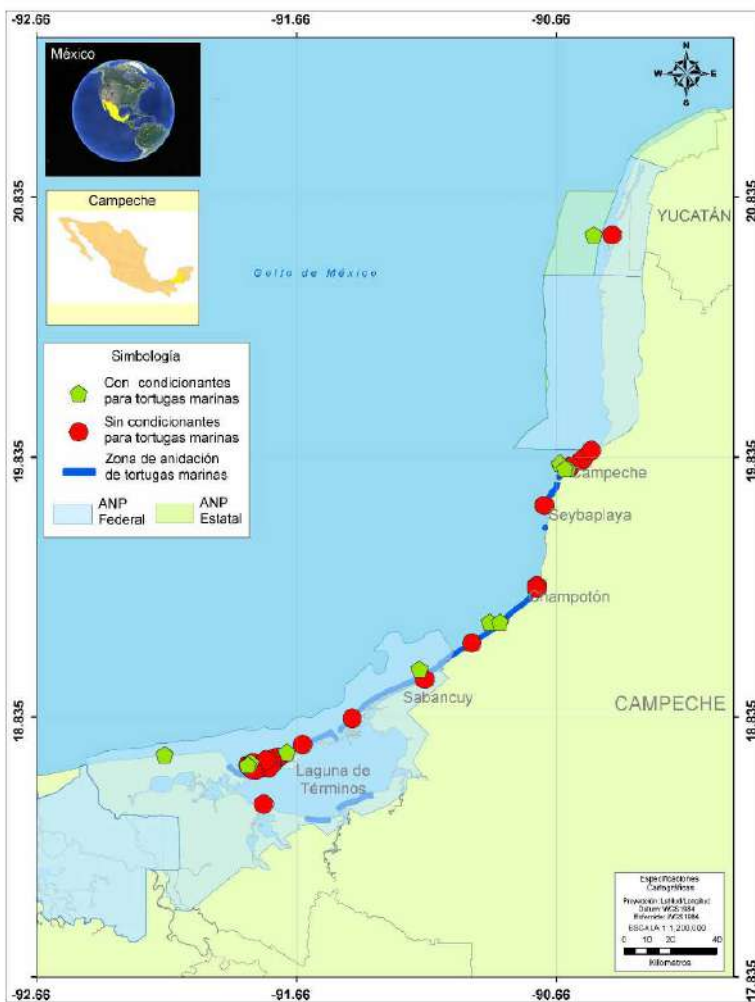


Figura 6. Distribución espacial de los proyectos para los cuales se sometieron MIA Particulares Modalidad A, y que fueron aprobadas en Campeche durante los años 2009-2013, diferenciado aquellas que incluyeron, de las que no, condicionante específico para la protección de las tortugas marinas y sus hábitats.

ticos, con lo que de forma indirecta y algo vaga se podría suponer la implementación de algunas acciones que pudieran relacionarse con la protección de las tortugas marinas y sus hábitats.

En lo que se refiere al estado de Yucatán, el 86.4 % de las MIA evaluadas se autorizaron de manera condicionada y únicamente el 13.6 % no fueron autorizadas (figura

9a). En cada año se autorizó más del 75 % de los proyectos sometidos y alrededor del 15 % no fueron autorizados (figura 9b).

Estos proyectos sometidos a evaluación se encuentran ubicados principalmente en la porción central de la costa de Yucatán (Progreso y Telchac Puerto), y en menor cantidad en la porción occidental (Celestún) y oriental (Ría Lagartos) (figura 10).

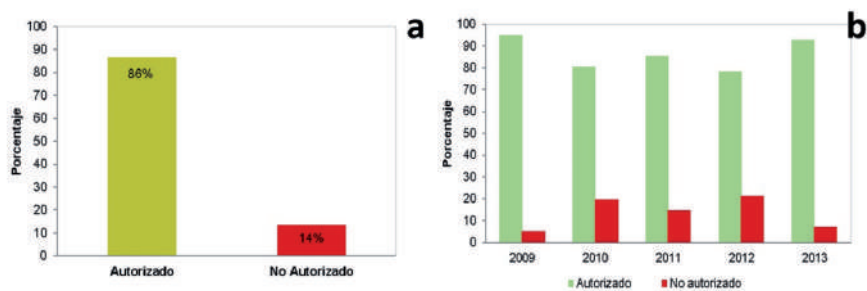


Figura 9. Distribución de los porcentajes de MIA Particulares (Modalidad A) autorizadas y no autorizadas para las zonas marina y costera del estado de Yucatán del año 2009 al 2013 en conjunto (a) y por año evaluado (b).

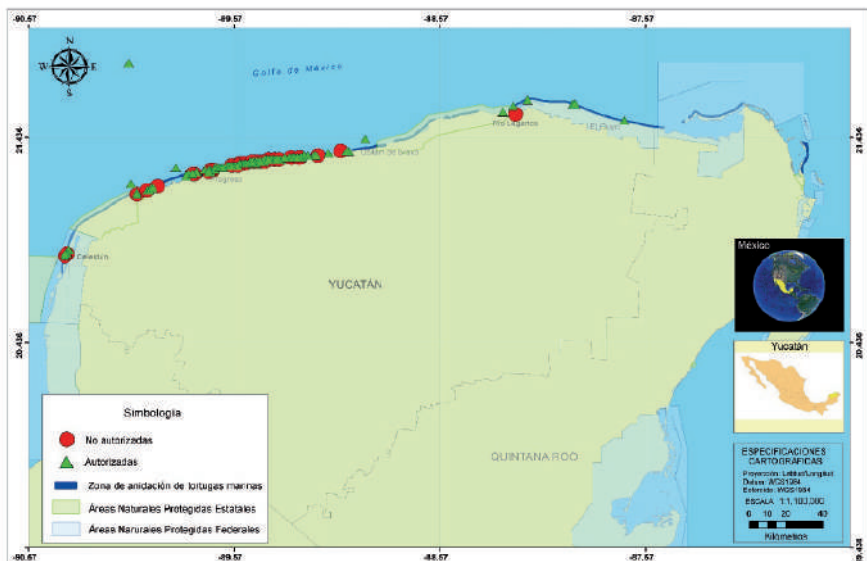


Figura 10. Distribución espacial de los proyectos sometidos a evaluación con MIA particulares Modalidad A aprobados o no para el estado de Yucatán durante los años 2009-2013.

El 63 % de las MIA evaluadas se relacionaron con actividades de infraestructura habitacional y el 13 % con la infraestructura turística, es decir, construcción de restaurantes, condominios, villas y hoteles. Otro 12 % estaban enfocadas a la construcción o remodelación de marinas, muelles y malecones; y únicamente el 10 % a instalaciones de arrecifes artificiales y estructuras de protección costera como es el caso de los geotubos. Menores del 1 % de los proyectos se relacionó con la rehabilitación de senderos, caminos y laboratorios de cultivos de organismos marinos.

La mayor concentración de proyectos para evaluación de MIA en el centro de la costa yucateca se sugiere está relacionado al uso turístico y de temporadas vacacionales intensivo que se realiza principalmente en esta porción del estado, además de tener el mayor número de habitantes de toda la costa del estado (Puerto Progreso alberga más del 50 % de la población costera) (figura 11).

Por el contrario, la menor cantidad de MIA Particulares (Modalidad A) se distribuyen en las porciones oriental y occidental de la costa yucateca, y se sugiere que se debe a las restricciones que imponen las Reservas de la Biósfera Ría Lagartos y Celestún, respectivamente, así como dos áreas naturales protegidas de jurisdicción estatal, El Palmar y Bocas de Dzilam que en conjunto ocupan más del 60 % del territorio costero (García de la Fuente *et al.*, 2010).

Con respecto a los resolutivos de los proyectos sometido a evaluación en Yucatán el 60 % contienen condicionantes específicas dirigidas a la protección de las poblaciones de tortugas marinas y sus hábitats, para las que frecuentemente se fundamentan en la Ley Genreal de Vida Silvestre y en los últimos años en la NOM-162-SEMARNAT-2012. Yucatán es el estado con mayor número de resolutivos con condicionantes para tortugas marinas entre el 2009 y 2013 en la península de Yucatán (figura 12).

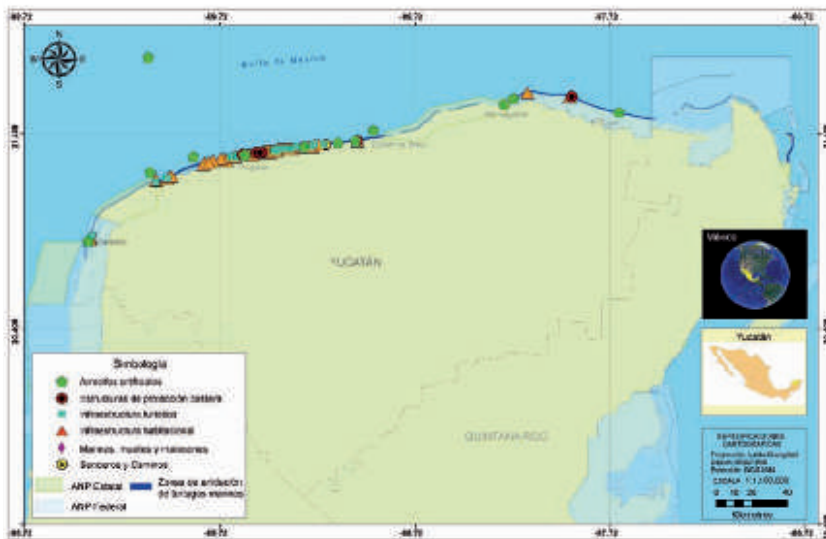


Figura 11 Distribución espacial de los proyectos que sometieron a evaluación MIA Particulares (Modalidad A) en el estado de Yucatán durante los años 2009-2013 diferenciadas por el tipo de proyecto o actividad.

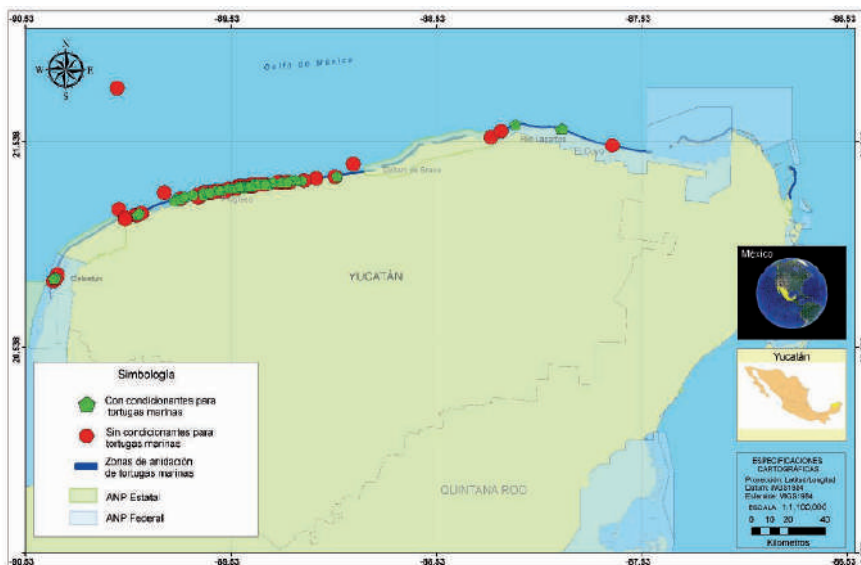


Figura 12. Distribución espacial de los proyectos para los cuales se sometieron MIA Particulares Modalidad A, y que fueron aprobadas en Yucatán durante los años 2009-2013, diferenciando aquellas que incluyeron, de las que no, condicionantes específicas para la protección de las tortugas marinas y sus hábitats.

Por último, para el caso de Quintana Roo se autorizó el 69 % de los proyectos sometidos a evaluación entre el 2009 y 2013 (figura 13a), y cada año fueron autorizados más del 50 % de los proyectos sometidos siendo el año 2013 cuando se autorizó el mayor porcentaje de proyectos sometidos, y en el 2010 con el mayor porcentaje de proyectos no autorizados (figura 13b).

A pesar de que la mayor parte de la población se distribuye en la porción norte del estado, los proyectos sometidos a evaluación con MIA se distribuyen a lo largo de toda la franja litoral del estado (figura 14), lo que se explica por la actividad económica principal que es el sector turístico y que se distribuye en la zona central, con más del 60 % de los turistas extranjeros que llegan al estado que buscan realizar actividades que tengan que ver con el mar, la playa y el entorno natural, en específico en sus ecosistemas costeros como arrecifes, pastos,

manglares y dunas y que entre los mejor conservados se encuentran en la zona centro y sur de la entidad (Lozano-Cortés y Olivares-Mendoza, 2011; Cruz-Coria *et al.*, 2013).

El estado de Quintana Roo tiene 23 áreas naturales protegidas; 66 % son federales, 30 % estatales y el restante 4 % corresponde a una reserva privada, y casi el 100 % del territorio costero se encuentra bajo un régimen de protección (Dávalos-Sotelo, 2016).

El 69 % de las MIA sometidas entre el 2009 y 2013 fueron autorizadas. En este estado la actividad turística ocupa un papel preponderante en la economía y en la sociedad, lo que frecuentemente implica conflictos sobre el uso del suelo para la conservación y el desarrollo de inmuebles turísticos y habitacionales (González-Damián, 2011).

El 72 % de las MIA evaluadas y autorizadas en el período de estudio fueron de ac-

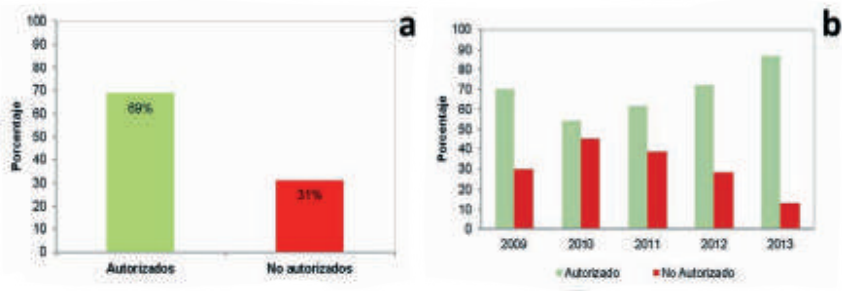


Figura 13. Distribución de los porcentajes de MIA particulares (Modalidad A) autorizadas y no autorizadas para las zonas marina y costera del estado de Quintana Roo del año 2009 al 2013 en conjunto (a) y por año evaluado (b).

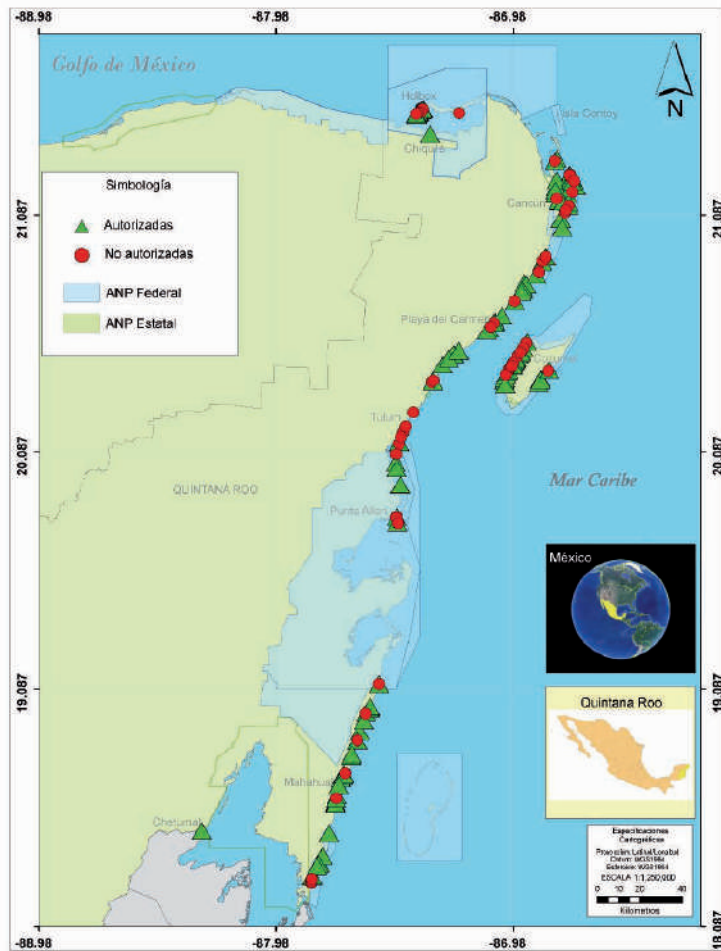


Figura 14. Distribución espacial de los proyectos sometidos a evaluación con MIA particulares Modalidad A aprobados o no para el estado de Quintana Roo durante los años 2009-2013.

te en sus cabeceras municipales, Cancún y Chetumal, aunque Benito Juárez se mantiene como el municipio más poblado de la entidad, al concentrar 50 % de los habitantes del estado (Lozano-Cortés y Olivares-Mendoza, 2011).

De los proyectos sometidos a evaluación y autorizados únicamente el 12 % contienen condicionantes específicas para la

protección de las poblaciones de tortugas marinas y sus hábitats (figura 16).

Como se aborda en siguientes párrafos a mayor detalle, esta condición se asume que ocurrió porque la zona donde se realizaron estos proyectos no tenía un número de anidaciones significativo o no era viable la presencia (litoral rocoso), por lo que no se incluyeron condicionantes. Sin embargo, no

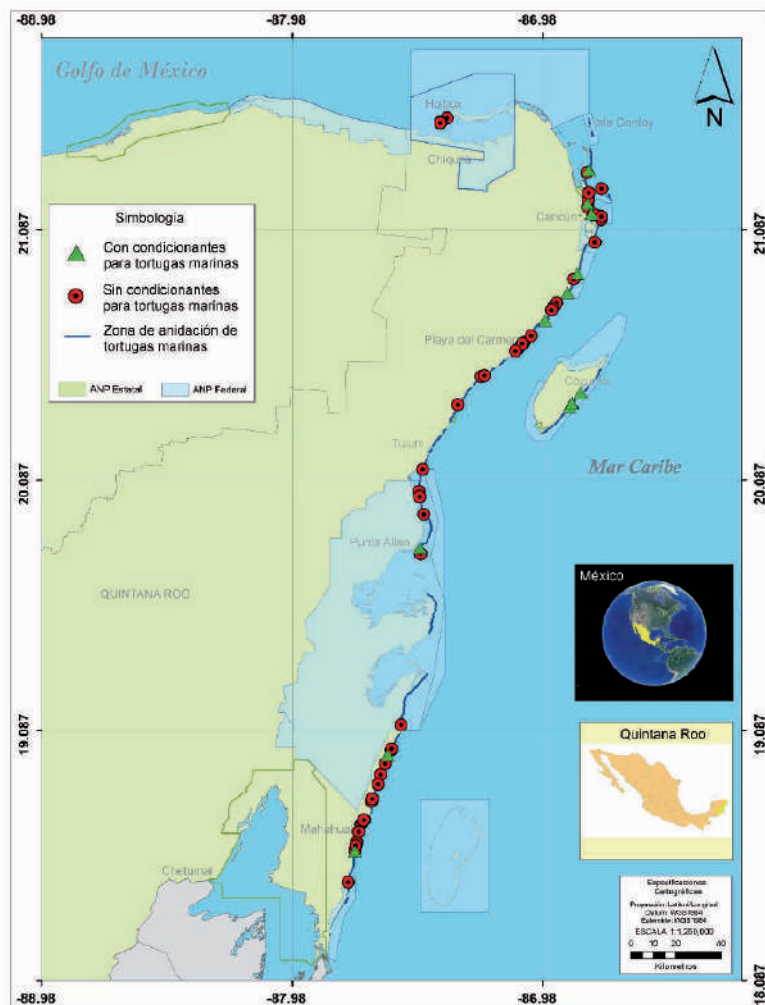


Figura 16. Distribución espacial de los proyectos para los cuales se sometieron MIA Particulares Modalidad A, y que fueron aprobadas en Quintana Roo durante los años 2009-2013, diferenciando aquellas que incluyen, de las que no, condicionantes específicas para la protección de las tortugas marinas y sus hábitats.

deja de hacerse es un llamado de atención para supervisar y mejorar las disposiciones específicas en el tema de la protección de tortugas marinas y sus hábitats como especies en peligro de extinción y prioritarias

para su conservación en México, y que no se observa una atención dirigida y explícita al momento de las condicionantes y recomendaciones a los proyectos de desarrollo autorizados en el estado.

Zonas críticas de anidación de tortugas marinas

Numerosos proyectos para los cuales se sometieron MIA en la península de Yucatán ocurrieron en zonas críticas de anidación de tortugas marinas, lo cual representa un gran reto para la gestión ambiental en términos de armonizar el desarrollo costero con la conservación y restauración de las poblaciones en peligro de extinción de las tortugas marinas en México.

Para el caso de Campeche, de los proyectos sometidos a evaluación con MIA el mayor porcentaje (46 %) se ubicó fuera de sitios de anidación de tortugas marinas, el 44 % se ubicaron en zonas de anidación de intensidad media y el 10 % en zonas críticas de anidación (figura 17). El mayor número de proyectos fuera y dentro de zonas de anidación se concentran principalmente

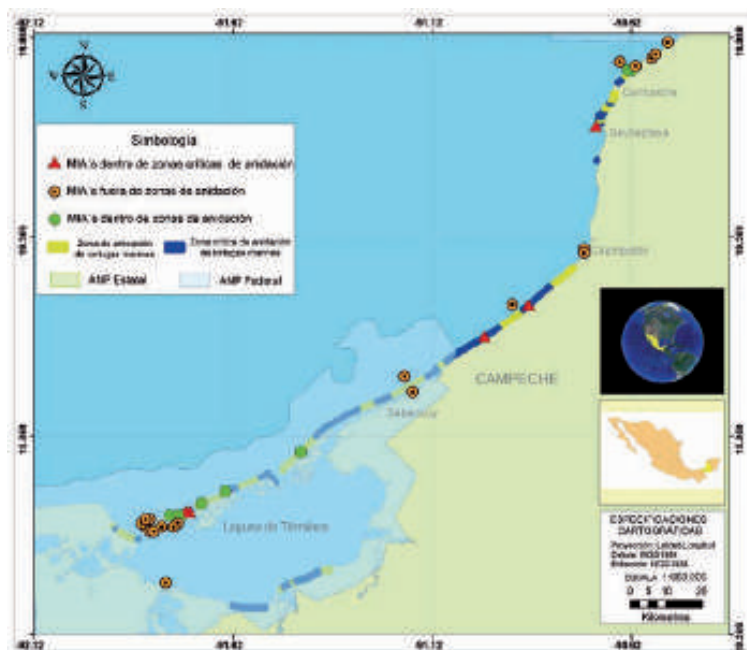


Figura 17. Distribución espacial de las MIA Particulares Modalidad A aprobadas en el estado de Campeche durante los años 2009-2013, diferenciadas por su ubicación dentro o fuera de zonas de anidación de tortugas marinas.

en Ciudad del Carmen, en menor número se distribuyen entre Sabancuy y Campeche.

De las seis (10 %) MIA aprobadas y realizadas dentro de zonas críticas de anidación de tortugas marinas únicamente una fue de tipo infraestructura turística, y fue realizada en Champotón; otro proyecto fue de protección costera realizado en la carretera federal tramo Ciudad del Carmen-Champotón; un proyecto de marinas y muelles en Ciudad del Carmen y dos proyectos de infraestructura habitacional en Ciudad del Carmen y Campeche (figura 18). De estos proyecto únicamente el proyecto de infraestructura turística ubicado en Champotón menciona en su resolutivo condicionantes específicas para la protección de tortugas marinas y sus hábitats de anidación (figura 19).

Por otro lado, en Yucatán de los proyectos sometidos a evaluación el 87 % se ubicaron en zonas de anidación de tortugas marinas, 11 % en zonas críticas de anidación y únicamente un 3 % se ubicaron fuera de sitios de anidación de tortugas marinas (figura 20). El mayor número de proyectos autorizados y realizados en zonas críticas de anidación se concentraron en las costas de Telchac Puerto, un menor número en entre Chuburná y Chelem, Sisal y Las Coloradas.

Del 11 % de las MIA Particulares aprobadas y ubicadas en zonas críticas de anidación de tortugas marinas el 73 % se relacionó con actividades de infraestructura habitacional y el 9% a marinas, muelles, malecones, infraestructura turística y estructuras de protección costera (figura 21).

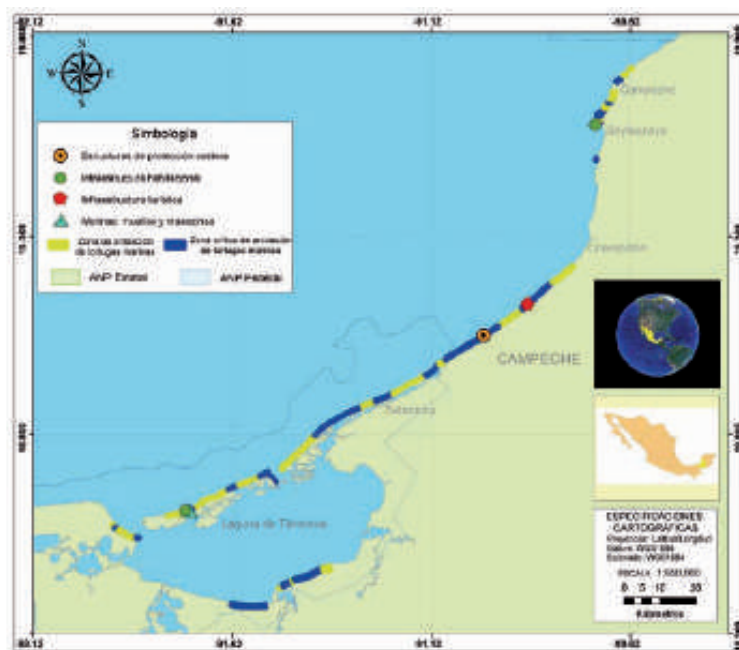


Figura 18. Distribución espacial de los proyectos con MIA Particulares (Modalidad A) aprobadas en el estado de Campeche durante los años 2009-2013 ubicadas dentro de zonas críticas de anidación de tortugas marinas y diferenciadas por el tipo de proyecto o actividad.

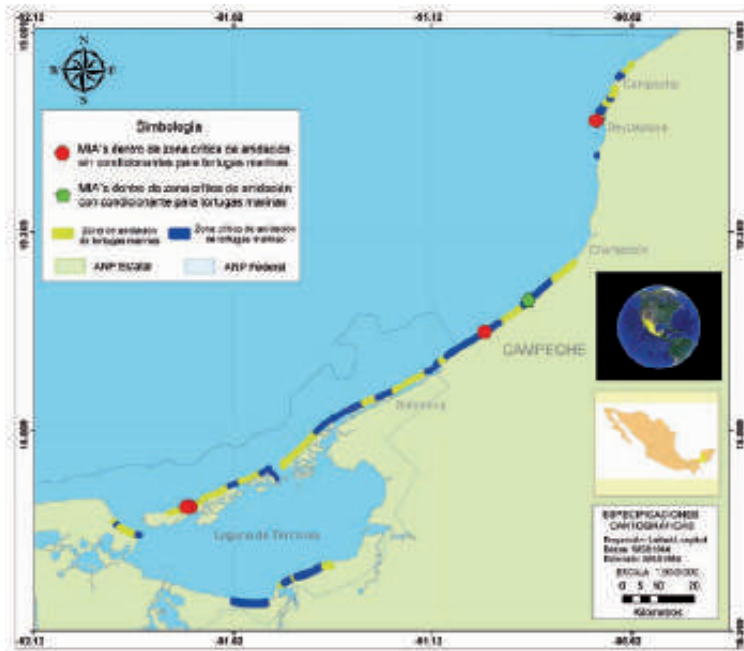


Figura 19. Distribución geográfica de los proyectos con MIA Particulares Modalidad A aprobadas realizadas en el estado de Campeche durante los años 2009-2013 ubicadas en zonas críticas de anidación y diferenciadas por condicionantes aplicadas para tortugas marinas.

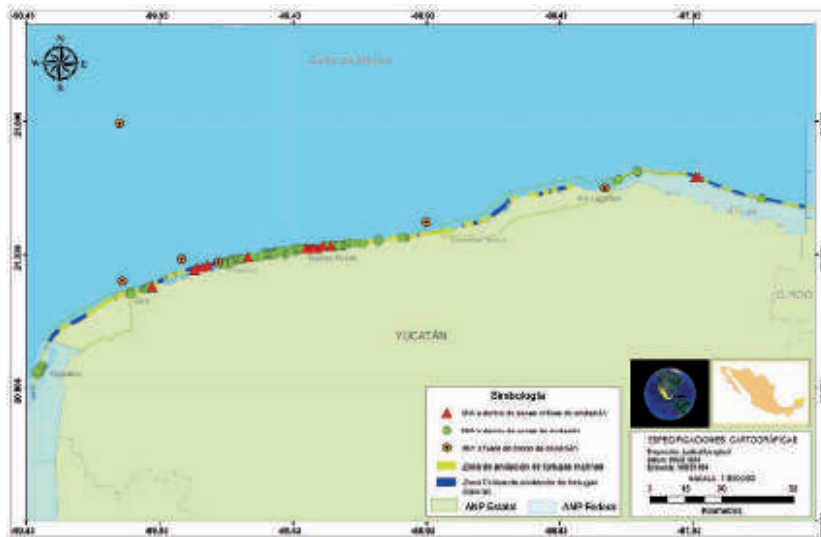


Figura 20. Distribución espacial de los proyectos con MIA Particulares Modalidad A aprobadas en el estado de Yucatán durante los años 2009-2013 diferenciados por su ubicación dentro o fuera de zonas de anidación de tortugas marinas.

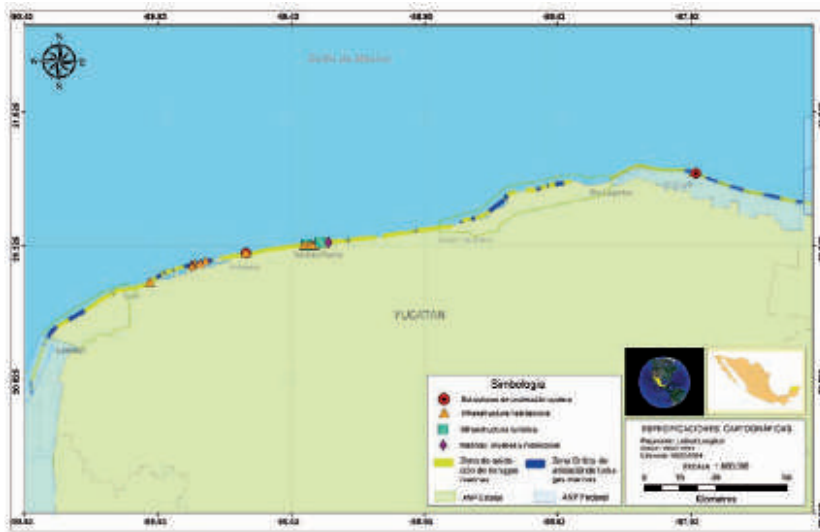


Figura 21. Distribución espacial de los proyectos con MIA Particulares Modalidad A aprobadas en el estado de Yucatán durante los años 2009-2013 ubicadas dentro de zonas críticas de anidación de tortugas marinas y diferenciadas por el tipo de proyecto o actividad.

Aquellos proyectos de tipo infraestructura habitacional, turística, marinas, muelles y malecones dentro de las zonas críticas de anidación se concentraron en los puertos de Telchac Puerto, Chuburná y Chelem; los proyectos de tipo protección costera se elaboraron en Las Coloradas y Progreso.

Del 11 % de MIA Particulares aprobadas en el estado de Yucatán y ubicadas en zonas críticas de anidación de tortugas marinas el 77 % de los resolutivos contienen consideraciones o condicionantes específicas para la protección de tortugas marinas y sus hábitats concentradas principalmente en Telchac Puerto, Chuburná, Chelem y Las Coloradas; únicamente el 23 % no presentaron condicionantes para tortugas marinas, ubicadas en las playas de Telchac Puerto, Progreso (Chicxulub), Chelem y Sisal (figura 22).

Finalmente, en Quintana Roo de los proyectos sometidos a evaluación con MIA Particulares autorizadas el 67 % se ubicó

fuera de sitios de anidación de tortugas marinas de alta densidad (se encontraban en zonas de línea de costa rocosa, o en zonas urbanas en las que ya no se registran anidaciones significativas) y el 33 % se ubicaron en dentro zonas de anidación (figura 23). El mayor número de MIA aprobadas dentro de zonas de anidación de tortugas marinas se localizan entre las playas de Mahahual y Punta Herrero, seguido de las playas entre Playa del Carmen, Puerto Morelos y Cancún.

Del 28 % (36) de las MIA aprobadas y realizadas dentro de zonas de anidación de tortugas marinas, la mayoría (53 %) se asoció a proyectos de infraestructura habitacional entre las playas de Mahahual y Punta Herrero; otro 33 % fueron infraestructura turísticas, mayormente ubicadas entre Playa del Carmen y en la costa este de Cozumel (figura 24). Aquellas actividades relacionadas a estructuras de protección costera y construcción o reconstrucción

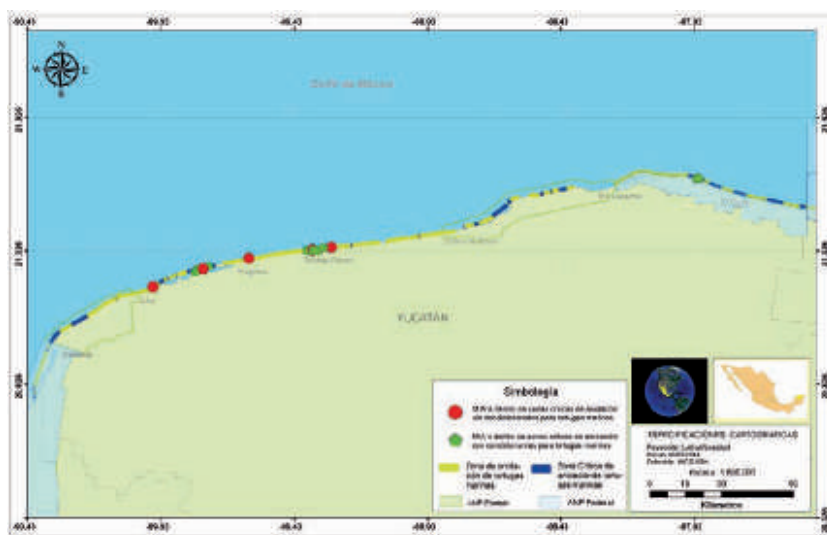


Figura 22. Distribución geográfica de los proyectos con MIA Particulares Modalidad A aprobadas y realizadas en el estado de Yucatán durante los años 2009-2013, y ubicadas en zonas críticas de anidación y diferenciadas por condicionantes aplicadas para tortugas marinas.

de marinas, muelles y malecones tuvieron porcentajes menores al 10% distribuidas en Playa del Carmen y Puerto Morelos (figura 24).

Con respecto a las MIA aprobadas dentro de zonas de anidación, el 36 % (15) contie-

nen en sus resolutivos condicionantes específicas para la protección de tortugas marinas y sus hábitats, distribuidas en Cozumel, Cancún, Puerto Morelos, Punta Allen y Mahahual (figura 25).

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Este análisis es un esfuerzo por conocer de forma particular la aplicación de condicionantes por parte de las autoridades a proyectos de desarrollo que tienen un potencial impacto sobre las poblaciones de tortugas marinas y sus hábitats críticos de reproducción, desarrollo, migración y alimentación.

Este es el primer análisis en México en el que se evalúa la asociación entre la distribución de los proyectos de desarrollo some-

tidos a evaluación de impacto ambiental, su naturaleza y la ubicación de playas de anidación de tortugas marinas. Con éste se evidencia y demuestra la necesidad de comunicación y coordinación estrecha entre, por un lado, los actores que laboran en la conservación e investigación sobre especies protegidas y prioritarias para la conservación en México, y por el otro a las autoridades encargadas de la toma de decisiones.

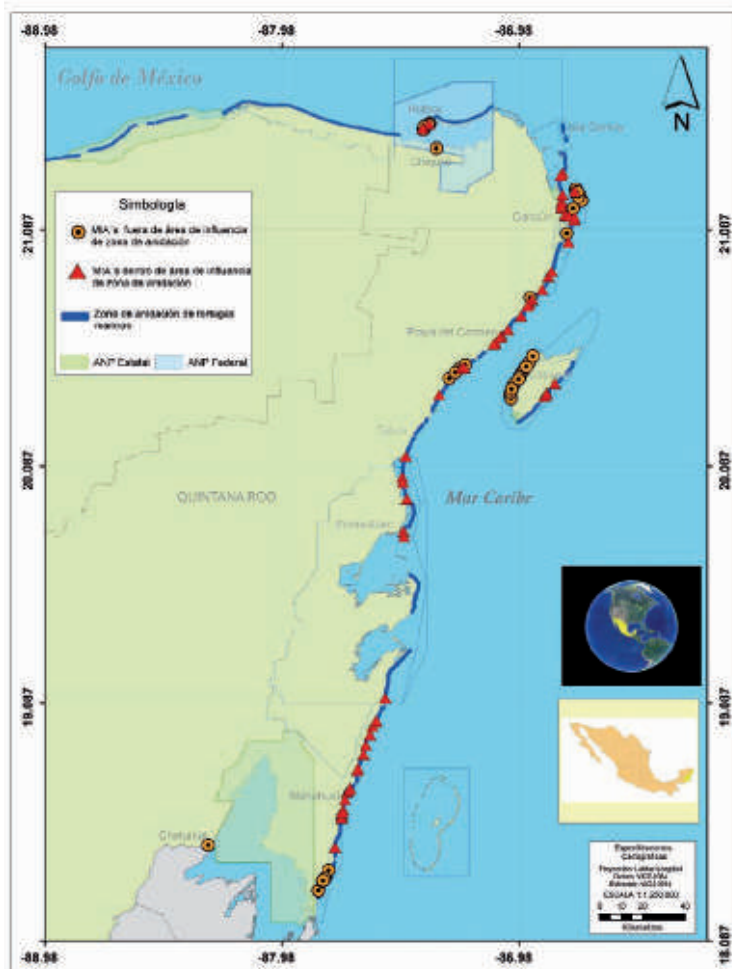


Figura 23. Distribución espacial de los proyectos con MIA Particulares Modalidad A aprobadas en el estado de Quintana Roo durante los años 2009-2013 diferenciadas por su ubicación dentro o fuera de zonas de anidación de tortugas marinas.

Se requiere de una coordinación compacta y directa entre sectores, con apertura para la transferencia de información técnica y científica de sustento para la toma de decisiones informada para cada región en el país.

La capacitación e involucramiento de las autoridades de los tres niveles de gobierno, incluyendo los equipos técnicos jurídicos y normativos, además de los inspectores y personal directamente relacionado con la

protección del ambiente en campo, es crucial para el éxito de la protección ambiental en México.

Existe gran cantidad de información científica y técnica clave para la toma de decisiones, está a disposición de los tomadores de decisiones, pero deben crearse los mecanismos y puentes de transferencia de dicho conocimiento para la mejor protección de las tortugas y sus hábitats, en un ambiente de colaboración y cooperación en

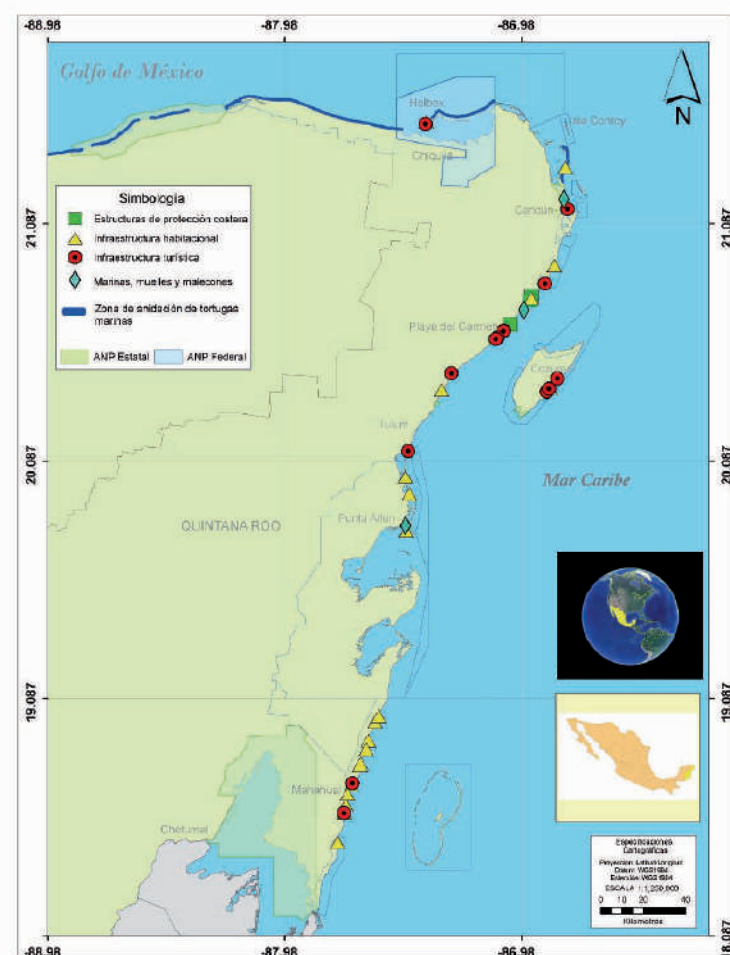


Figura 24. Distribución espacial de los proyectos con MIA Particulares Modalidad A aprobadas en el estado de Quintana Roo durante los años 2009-2013 y ubicadas dentro de zonas de anidación de tortugas marinas, diferenciadas por el tipo de proyecto o actividad.

que se reconozca el valor de cada una de las partes como generadores y dueños de la información técnica biológica y ecológica, y de los tomadores de decisiones con opor-

tunidades de marcar cambios y actitudes ambientalmente responsables para la recuperación de especies en peligro de extinción en México.

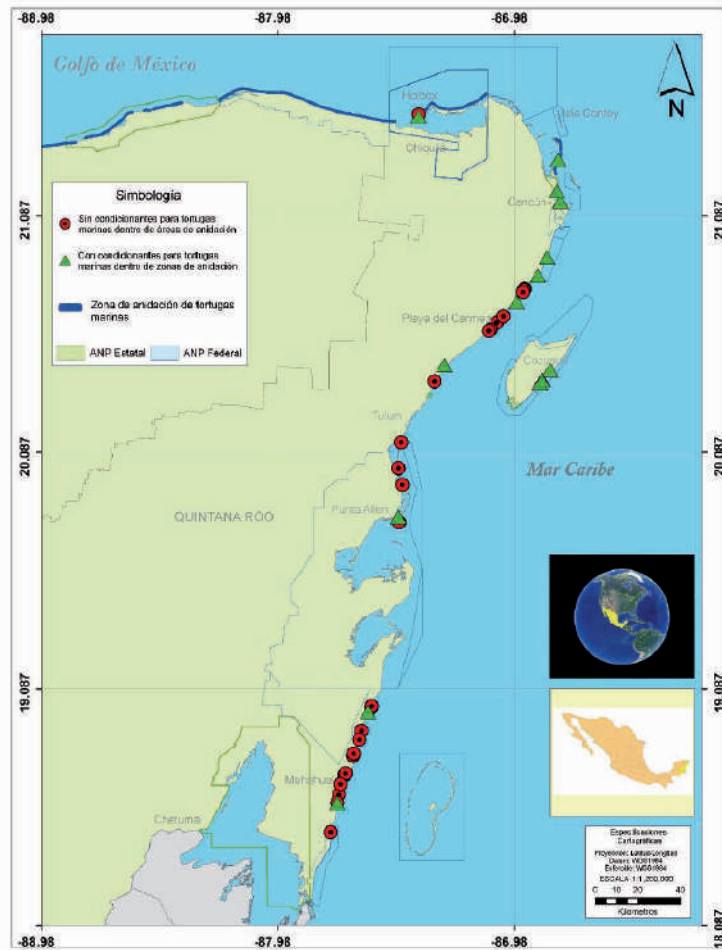


Figura 25. Distribución geográfica de los proyectos con MIA Particulares Modalidad A aprobadas en el estado de Quintana Roo durante los años 2009-2013 y ubicadas en zonas de anidación, diferenciadas por condicionantes aplicadas para tortugas marinas.

Agradecimientos

Este análisis fue realizado en el marco del proyecto “Enhancement of high quality hawksbill nesting beaches” (#36955) fi-

nanciado por la National Fish and Wildlife Foundation. A los revisores por las sugerencias hechas para mejora del manuscrito.

Literatura citada

- Avilés-Ramírez, G.A., J.M. González-León, A.P. Poot-Esparza, M. Medina-García, y R. I. Rojas-González, 2016. Influencia de arrecifes artificiales Reef Ball de la Ensenada Xpicob, sobre la estructura de la meiofauna y sedimentos recientes. *AGRO Productividad*, 9: 44-49.
- Bjorndal, K. A., y J. B. Jackson, 2002. Roles of sea turtles in marine ecosystems: reconstructing the past. p. 259-273. En: P. L. Lutz, J. A. Musick y J. Wyneken (Eds.). *The biology of sea turtles*, Volume 2. CRC Marine Biology Series, Boca Raton.
- Bolongo Crevenna Recaséns, A., A.Z. Márquez García, V. Torres Rodríguez, y A. García Vicario, 2010. Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, p. 73-96. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (Eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Semarnat-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche.
- Bolten, A. B., L. B., Crowder, M. G. Dodd, S. L. MacPherson, J. A. Musick, B. A. Schroeder, B. E. Witherington, K. J. Long, y M. L. Snover, 2011. Quantifying multiple threats to endangered species: an example from loggerhead sea turtles. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(5): 295-301.
- Burkholder, D. A., M.R. Heithaus, J.A. Thomson, y J. W. Fourqurean, 2011. Diversity in trophic interactions of green sea turtles *Chelonia mydas* on a relatively pristine coastal foraging ground. *Marine Ecology Progress Series*, 439: 277-293.
- Canul-Turriza, R. C., E. Mendoza, G. Posada, y R. Silva, 2018. An engineering based analysis of the coast of Campeche as the path to sustainable management decisions. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(36): 101.
- Cruz Coria, E., L. Zizumbo-Villarreal, N. Monteroso-Salvatierra, y A. L. Quintanilla Montoya, 2013. La confrontación social por el espacio costero: la configuración de paisajes turísticos en Puerto Morelos, Quintana Roo. *Región y Sociedad*, 25(56): 127-160.
- Cuevas, E., F.A. Abreu-Grobois, V. Guzmán-Hernández, M.A. Liceaga-Correa, y R. P. Van Dam, 2008. Post-nesting migratory movements of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in waters adjacent to the Yucatan Peninsula, Mexico. *Endangered Species Research*, 10: 1-12. <doi: 10.3354/esr00128>
- Cuevas, E., B.I. González-Garza, V. Guzmán-Hernández, R.P. van-Dam, y P. García-Alvarado, 2012. Migratory corridors and feeding hotspots for hawksbill and Green turtles in waters adjacent to the Yucatan peninsula, Mexico. *The State of the World's Sea Turtles Report*, Vol. VII.
- Cuevas-Flores, E., y M. A. Liceaga-Correa, 2014. Santuarios para tortugas marinas: propuesta. Capítulo XXI. En: J. I. Euán-Ávila, A. García-de Fuentes, M. A. Liceaga-Correa y A. Munguía-Gil (Eds.). *La costa del estado de Yucatán, un espacio de reflexión sobre la relación sociedad-naturaleza, en el contexto de su ordenamiento ecológico territorial*. Plaza y Valdés, México. Vol. I.
- Cuevas, E., y M. Garduño-Andrade, 2014. Actividades en el Centro de Protección y Conservación de Tortugas Marinas en Las Coloradas, Yucatán 68-88 p. En: *Tortugas marinas*. Instituto Nacional de Pesca, México, D. F.
- Cuevas, E., V. Guzmán-Hernández, A.L. Sarti-Martínez, M. López-Castro, M. Tzeek-Tuz, D. Lira-Reyes, L. Gómez-Nieto, D.G. Castañeda-Ramírez, S.A. Gallegos-Fernández, C. Cáceres-G-Cantón, A. Ortiz-Hernández, y G. Quintana-Pali, 2018. Chapter México. p. 63 – 78. En: Nalovic, M., Cuevas, E. y Godfrey, M. (Eds.). *Sea turtles in the North-West Atlantic & Caribbean Region: MTSG Annual Regional Report 2018*. Draft Report of the IUCN-SSC Marine Turtle Specialist Group, 2018.
- Dávalos-Sotelo, R., 2016. El papel de la investigación científica en la creación de las áreas naturales protegidas. *Madera y bosques*, 22(1), 7-13.
- Diario Oficial de la Federación, 2014. Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. DOF: 05/03/2014. Consultado en línea [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIV02_17&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce] Abril 2019.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2018. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. LGEEPA. DOF: 02/06/2018. Consultado en línea [http://www.diputados.

- gov.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf] Abril 2019.
- Eckert, K. L., y A. H. Hemphill, 2005. Sea turtles as flagships for protection of the wider Caribbean region. *Maritime Studies*, 3(2): 4.
- FAO, 2012. Evaluación del impacto ambiental: directrices para los proyectos de campo de la FAO, Roma. 44 p.
- Ferreira, M., T. Colás-Marrufo, A. Tuz-Sulub, E. Pérez-Díaz, X. Rénan, y T. Brulé, 2005. Evaluación Preliminar de la Colonización de Refugios Artificiales por Peces en Punta Palmar Yucatán, México. *Proceedings of the 56th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 2005: 487-503.
- Fish, M. R., I.M. Cote, J.A. Horrocks, B. Mulligan, A.R. Watkinson, y A. P. Jones, 2008. Construction setback regulations and sea-level rise: mitigating sea turtle nesting beach loss. *Ocean & Coastal Management*, 51(4): 330-341.
- Frazier, J. G., 2005. Marine turtles: the role of flagship species in interactions between people and the sea. *Mast*, 3(2): y 4(1): 5-38.
- Gallaway, B. J., S.T. Szedlmayer, y W. J. Gazey, 2009. A life history review for red snapper in the Gulf of Mexico with an evaluation of the importance of offshore petroleum platforms and other artificial reefs. *Reviews in Fisheries Science*, 17(1): 48-67.
- García de Fuentes, A., M. Xool, J. I. Euán, A. Munuía, y M. D. Cervera, 2011. La costa de Yucatán en la perspectiva del desarrollo turístico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Colección Corredor Biológico Mesoamericano, México, Serie Conocimientos, 9.
- Garduño M.R., B. Márquez. B. Schroeder, y G. Balazs. 2000. Migración y buceo de la tortuga Carey en la Península de Yucatán. En: Memorias del X taller y I Congreso Regional sobre Programas de Conservación de Tortugas Marinas en la Península de Yucatán. Cd del Carmen, Campeche.
- Goatley, C. H., A.S. Hoey, y D. R. Bellwood, 2012. The role of turtles as coral reef macroherbivores. *PLoS One*, 7(6): e39979.
- González-Damián A., 2011. Uso Turístico de los recursos naturales. P. 197-201. En: C. Pozo, N. Armijo-Canto, y S. Calmé (Eds.). Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd). México, D. F.
- nabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd).
- González-Garza, B.I., P. García-Alvarado, M. Villalobos-Sosa, E. Cuevas, G. García-Contreras, V. Guzmán-Hernández, y P. Huerta-Rodríguez, 2010. Identificación de zonas críticas de anidación en Campeche. 2da Reunión Nacional sobre Conservación de Tortugas Marinas. Cozumel, Octubre 2010.
- Guzmán-Hernández, V., E. Cuevas-Flores, y R. Márquez-Millán, 2007. Occurrence of Kemp's ridley (*Lepidochelys kempii*) along the coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Chelonian Conservation and Biology*, 6: 274-277.
- Hannan, L.B., J.D. Roth, L.M. Ehrhart, y J. F. Weishampel, 2007. Dune vegetation fertilization by nesting sea turtles. *Ecology*, 88(4): 1053 - 1058.
- Herrera-Pavón, R. L., 2011. La tortuga marina, omnipresente en la cultura maya. En. INE. 2014. Tortugas Marinas. Instituto Nacional de Pesca. 94 p.
- Lazar, B., R. Gračan, J. Katić, D. Zavodnik, A. Jaklin, y N. Tvrtković, 2011. Loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) as bioturbators in neritic habitats: an insight through the analysis of benthic molluscs in the diet. *Marine Ecology*, 32(1): 65 - 74.
- López-Gonzalez K., 1999. Aspectos sobre la reproducción de la tortuga blanca *Chelonia mydas* (Linnaeus 1758) (Reptilia:Cheloniidae) en la playa de Las Coloradas, Yucatán. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Mérida. 65 p.
- López-Portillo, J., R.R. Lewis III, P. Saenger, A. Rovai, N. Koedman, F. Dahdouh-Guebas, C. Agraz-Hernández, y V. H. Rivera-Monroy, 2017. Mangrove forest restoration and rehabilitation. p: 301 - 346. En: V. H. Rivera-Monroy *et al.* (Eds.). Mangrove Ecosystems: A global biogeographic perspective. Springer International Publishing.
- Lozano-Cortés R., y J.A. Olivares-Mendoza, 2011. Sociedad y Economía. En: C. Pozo, N. Armijo-Canto y S. Calmé (Eds.). Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd). México, D. F.

- Méndez D., E. Cuevas, J. Navarro, B.I. González-Garza, y V. Guzmán-Hernández, 2013. Rastreo satelital de las hembras de tortuga blanca *Chelonia mydas* y evaluación de sus ámbitos hogareños en la costa norte de la península de Yucatán, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3): 497-509.
- Mortimer A. B. y M. Donnelly, 2007. Marine Turtle Specialist Group, 2007 IUCN Red List Status Assessment: Hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*). MTSG/IUCN 121p.
- Nava-Fuentes, J. C., P. Arenas Granados, y F. Cardoso-Martins, 2018. Integrated coastal management in Campeche, Mexico; a review after the Mexican marine and coastal national policy. *Ocean and Coastal Management*, 154: 34-45.
- Ortiz-Pérez, M., 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltaico del Río San Pedro; Campeche; Tabasco. *Boletín del Instituto de Geografía*, 25, 7-24.
- Piniak, W.E.D., y K. L. Eckert, 2011. Sea turtle nesting habitat in the Wider Caribbean Region. *Endangered Species Research*, 15(2): 129-141.
- Plan Estatal de Desarrollo, 2009-2015 Programa sectorial de crecimiento económico Gobierno del estado de Campeche.
- Presas-Hernández, B., 2001. Áreas Naturales protegidas en Quintana Roo. 301-309 p En: C. Pozo, Armijo-Canto, N. y S. Calmé, (Eds.). Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd). México, D. F
- Schifter, I., C. González-Macías, L. Salazar-Coria, G. Sánchez-Reyna, y C. González-Lozano, 2015. Long-term effects of discharges of produced water the marine environment from petroleum-related activities at Sonda de Campeche, Gulf of Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187: 723.
- SEMARNAT, 2000. Programa Nacional de Protección, Conservación, Investigación y Manejo de Tortugas Marinas. Semarnat, INE, México. 125 pp.
- SEMARNAT - INE, 2012. La evaluación del impacto ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología. 278 p.
- Spotila J. R., 2004. Sea turtles: A complete guide to the biology, behavior, and conservation. The Johns Hopkins University Press.
- Streich, M. K., 2016. Ecology of red snapper in the western Gulf of Mexico: comparisons among artificial and natural habitats. Tesis Doctoral, Texas A&M University. Corpus Christi.
- Valderrama-Landeros, L. H., R. Martell-Dubois, R. Ressler, R. Silva-Casarán, C.J. Cruz-Ramírez, y J. J. Muñoz-Pérez, 2019. Dynamics of coastline in Mexico. *Journal of Geographical Sciences*, 29: 1-18.
- Valera-Bermejo, A., R. Ramírez-Álvarez, y E. Quintero, 2016. Especies prioritarias para la conservación de la biodiversidad: El caso de México. *Biodiversitas*, 128: 1-5.
- Valverde R. A., y K. R. Holzworth, 2017. Sea turtles of the Gulf of Mexico. p 1189-1352. En: Ward S. H. (Ed.). Habitats and biota of the Gulf of Mexico: Before the Deepwater Horizon oil spill (Volume 2). Springer Nature.
- Varela-Llamas, R., J.M. Ocegueda Hernández, y R. A. Castillo Ponce, 2017. Migración interna en México y causas de su movilidad. *Perfiles latinoamericanos*, 25(49), 141-167.
- Witherington, B., S. Hirama, y A. Mosier, 2011. Sea turtle responses to barriers on their nesting beach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 401(1-2): 1-6.

El papel de los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE) en el manejo y restauración de especies y ecosistemas del sureste de México

P. A. Gómez-Ruíz, S. Laffon-Leal, A. Delgado-Estrella y E. Cuevas

Resumen

México tiene un marco legal y normativo respecto a temas ambientales bastante amplio, lo cual tiene como objetivo fundamental la protección y conservación de la biodiversidad del país, que es ampliamente reconocida a nivel mundial. Como parte de los esfuerzos por orientar el correcto manejo de especies y ecosistemas, se han creado iniciativas como los Programas de Acción para la Conservación de Especies

(PACE), los cuales están enfocados en especies clave o de interés por su función en los ecosistemas y que se encuentran en algún estado de amenaza, peligro o están altamente vulnerables a los cambios en los ecosistemas donde habitan. Estos PACE fueron realizados por grupos de expertos y uno de los componentes que abordan en la mayoría, es la restauración, que está más enfocada al hábitat o ecosistemas donde está la especie. En este capítulo hacemos una revisión general del papel de los PACE en el desarrollo de acciones de restauración ecológica principalmente en ecosistemas terrestres y marinos de la región sureste. De manera general observamos que las indicaciones que se hacen en los PACE sobre este componente son muy generales, tanto que no permiten la definición de acciones e indicadores concretos que puedan ser monitoreados permanentemente. Hace falta articular la dinámica de poblaciones de estas especies con sus requerimientos de hábitat para diseñar acciones de restauración más efectivas y que permitan su recuperación y conservación. Por otra parte, un análisis de inversión de los últimos años indica que si bien existe apoyo financiero para el desarrollo de proyectos de conservación y restauración, no es claro como eso se ha traducido en logros para el mantenimiento de las especies clave. De igual forma no hay un financiamiento constante lo cual ha ocasionado que muchas iniciativas se suspendan o se cancelen por falta de recursos. Desafortunadamente tanto la restauración como en algunos casos la conservación de especies implica altos costos económicos, pero es una responsabilidad hacer estas inversiones sobre todo en países con tanta riqueza de biodiversidad como México.

Palabras clave: programas de conservación, especies sombrilla, península de Yucatán, restauración ecológica, políticas públicas.

Introducción

Una de las políticas implementadas hasta el 2018 por el gobierno federal de México para la recuperación y conservación de especies de importancia ecológica fue el Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER). Este programa se enfoca en la atención de necesidades de un conjunto particular de especies que son consideradas prioritarias para su conservación, las cuales fueron definidas por grupos de especialistas mexicanos con base en investigaciones y procesos de trabajo conjunto en años pasados (DOF, 2014; Valera-Bermejo *et al.*, 2016). Estas especies son de alto interés ecológico por su función en los

ecosistemas donde habitan y en los cuales cumplen el papel de especies **sombrilla**, al conservar a estas especies se conservan otras que ocupan el mismo ecosistema o que están en niveles inferiores de la cadena alimenticia (Roberge y Angelstam, 2004; Maslo *et al.*, 2016), **bandera**, son insignia o características de sitios, regiones o ecosistemas particulares (Jepson y Barua, 2015; Kalinkat *et al.*, 2017) o **ingenieras**, porque influyen de forma física en la configuración y características del ecosistema que ocupan (Badano y Cavieres, 2006). En el caso particular de México además se encuentran en alguna categoría de amenaza y por lo tanto

están protegidas por la NOM-059 (SEMARNAT, 2010). Estas especies son clave para el funcionamiento, la recuperación y el mantenimiento de la biodiversidad terrestre y marina en México.

Para estas especies prioritarias para la conservación, desde el año 2008 se manejan como estrategias rectoras de gobernanza los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE), los cuales están diseñados para orientar actividades específicas de conservación de las especies y sus hábitats, incluyendo indicadores de logros que deben ser monitoreados periódicamente. Los PACE manejan diferentes subprogramas para cada especie: protección, manejo, restauración, conocimiento, cultura y gestión; y en algunos de los documentos recientemente publicados se incluyó un componente de atención al cambio climático. Esto integra los aspectos biológicos y sociales que se espera deben complementarse entre sí, e interactuar con otros programas para lograr el mantenimiento de estas especies y sus hábitats.

La distribución geográfica de estas especies no reconoce límites políticos, por lo que en términos de gobernanza, efectividad y eficiencia de acciones, se requiere evaluar los temas de coincidencia y traslape espacial de los objetivos y las actividades definidas en los diferentes PACE, que permitan una sinergia de estrategias, actores y recursos para una mejor gobernanza entre las diferentes instituciones involucradas. Así mismo, lleva a la reflexión sobre la revisión de los programas de Ordenamiento Territorial, en especial en regiones donde los asentamientos humanos coinciden con sitios críticos y prioritarios para la conservación de las especies. De igual forma, al identificar estas confluencias de objetivos y acciones, se promueve la revisión y segui-

miento de los programas de manejo de las diferentes Áreas Naturales Protegidas (ANP) existentes en el país.

México es un país de una gran riqueza en biodiversidad, por lo tanto tiene que invertir cantidades importantes de recursos (humanos, monetarios, logísticos) para preservarla y recuperarla en casos de degradación. Por ejemplo, una de las mayores amenazas para las especies que habitan ecosistemas terrestres es la destrucción y fragmentación del hábitat, derivado del crecimiento demográfico que genera cambios de uso de suelo y mal manejo de los ecosistemas (Oriol-Cotterill *et al.*, 2015; Tilman *et al.*, 2017). Por su parte, los ecosistemas acuáticos se ven afectados por la contaminación y extracción irracional de recursos que alteran las cadenas tróficas (Maxwell *et al.*, 2013; Giakoumi *et al.*, 2014; Halpern *et al.*, 2015).

Es por ello que las ANP tienen como propósito la conservación y restauración de ecosistemas, donde se puedan mantener las poblaciones silvestres de una amplia variedad de especies y que las funciones ecosistémicas se mantengan para continuar con la provisión de servicios ambientales de los cuales dependen en buena parte las poblaciones humanas (Agardy *et al.*, 2011; Daly *et al.*, 2018; Zupan *et al.*, 2018; Salafsky, 2019). Los programas de manejo de las ANP y la mayoría de los PACE incluyen el componente de restauración, desde el punto de vista de acciones para recuperar ambientes degradados y generar las condiciones para que los ecosistemas también puedan recuperarse por sus propios medios, dependiendo de su capacidad de resiliencia, la cual es la habilidad natural que tiene cada sistema natural para recuperarse luego de una perturbación, y que está directamente asociada con la salud del mismo (Timpa-

ne-Padgham *et al.*, 2017). Cuando esta recuperación natural no es posible, entonces debe intervenir el ser humano por medio de la restauración ecológica de ecosistemas, que se define como el proceso de asistencia que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad en la cual se busca que se restablezcan al menos parcialmente atributos de composición, estructura y función (SER, 2004).

La restauración ecológica en México se ha desarrollado en una gran variedad de ecosistemas principalmente terrestres (Tobón *et al.*, 2017, Méndez-Toribio *et al.*, 2017). Para el caso de los ecosistemas acuáticos y marinos hace falta más investigación y/o divulgación de las experiencias que se han realizado. Este conocimiento es fundamental para construir una línea base que permita definir estrategias y prioridades para la restauración de todos los ecosistemas en nuestro país. Una ventana de

oportunidad para impulsar el desarrollo de la restauración ecológica es el diseño, implementación y monitoreo de acciones de restauración incluidas en los PACE; sin embargo, se desconoce cómo este componente de los programas se ha desarrollado desde la entrada en vigencia de los mismos. Considerando todo lo anterior, el propósito de este documento fue el análisis los objetivos, acciones e indicadores de restauración de un grupo de especies prioritarias, terrestres y marinas junto con sus ecosistemas asociados distribuidos en el sureste de México, incluyendo las inversiones financieras que el gobierno federal ha realizado, como un indicador de la atención e impacto de estas especies clave para la conservación de la biodiversidad. Con esto esperamos brindar elementos de criterio para la evaluación y definición de futuras directrices que incidan efectivamente en el manejo y restauración de los ecosistemas y especies amenazadas del país.

¿Qué se ha avanzado en la conservación de especies?

Mecanismos internacionales y nacionales para la conservación de especies

A nivel mundial existen varios acuerdos, tratados y organizaciones que tienen como objetivo principal la conservación de un amplio grupo de especies de fauna y flora. Una de estas instancias es la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), la cual es una red ambiental mundial que se compone de estados soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil (<https://www.iucn.org/es>). Entre sus actividades está la evaluación del estado de los recursos natu-

rales y de las especies, promoviendo algunas medidas necesarias para su protección y conservación. Del trabajo de su grupo de expertos e instituciones participantes, se han generado varios acuerdos ambientales internacionales claves, incluyendo el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), la Convención del Patrimonio Mundial, y la Convención de RAMSAR sobre los humedales. En todos estos acuerdos México es signatario, lo cual implica un compromiso a nivel internacional para cuidar y conservar su riqueza

de especies y ecosistemas. Siguiendo estas directrices, en el país se han diseñado e implementado diversos programas apoyados por una amplia legislación ambiental vigente. En particular, el PROCER es una estrategia que ha facilitado e invertido en la generación de conocimiento socioambiental estratégico sobre líneas de acción rectoras para la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y sus socios de la sociedad civil y académicos.

Papel de la restauración en la conservación de especies y ecosistemas

En los últimos años, la restauración de ecosistemas se ha convertido en un tema prioritario más allá del aspecto científico, porque se considera una actividad que contribuye a revertir los daños ambientales actuales, por medio de la recuperación de las funciones y estructura de los ecosistemas. La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema respecto a su salud, integridad y funcionalidad (SER, 2004). En ese entonces, se pretendía recuperar el ecosistema a un estado más parecido a las condiciones previas a la perturbación; sin embargo, teniendo en cuenta la variabilidad ambiental natural e inducida por el hombre que experimentamos en la actualidad, es prácticamente inviable y poco funcional intentar restablecer el ecosistema a condiciones históricas que no existen más en el presente ni estarán en el futuro, teniendo en cuenta los impactos del cambio climático. Por tal razón, las acciones de restauración se deben enfocar principalmente en la recuperación de funciones y sustentabilidad a futuro (Gómez-Ruiz y Lindig-Cisneros, 2017), lo cual debe incluir de forma más activa y participativa a la sociedad, representada en múltiples actores e instituciones.

Históricamente, la restauración se ha enfocado más en los componentes de flora y suelo de los ecosistemas, ya que son la base para que la fauna pueda recuperar posteriormente sus hábitats. Por su parte, la conservación se ha enfocado más en especies de fauna particulares, a la vez que busca preservar los hábitats donde se distribuyen naturalmente. Estas dos estrategias, restauración y conservación, son complementarias, ya que cuando se facilitan las condiciones e implementan acciones para que se recuperen ciertos ecosistemas, se pueden cubrir los requerimientos de hábitat para determinadas especies, lo cual favorece su conservación, reduciendo la necesidad de implementar medidas adicionales que incrementan costos y tiempo (Strassburg *et al.*, 2019). Sin embargo, también es importante considerar que cuando los objetivos de conservación son muy específicos en términos de las necesidades de una especie, se pueden generar esfuerzos mal dirigidos que incluso pueden terminar en fracasos rotundos (Hiers *et al.*, 2016).

A nivel de México, se han realizado esfuerzos importantes en la identificación de sitios para la conservación y restauración de ecosistemas y sus especies asociadas (CONABIO, 2008a y 2008b; Tobón *et al.*, 2017). Esto en respuesta a la necesidad nacional de fortalecer las acciones de manejo de la biodiversidad, así como por una serie de compromisos y metas internacionales en los cuales México participa como el Reto de Bonn, en el que se propone para el 2020 la restauración forestal de 150 millones de hectáreas a nivel mundial; o la Iniciativa 20x20 donde se espera lograr la restauración de otros 150 millones de hectáreas y de las cuales México se comprometió a restaurar 8.5 millones para el 2020 (Méndez-Toribio *et al.*, 2017).

La importancia de la conectividad entre Áreas Naturales Protegidas

La definición de conectividad de paisaje incluye dos conceptos fundamentales, (1) la conectividad estructural en términos espaciales (cercanía o continuidad) entre elementos del paisaje (*i.e.* parches de bosque), lo cual es independiente de las características ecológicas de las especies (Taylor *et al.*, 2006; Tischendorf y Fahrig, 2000); y (2) la conectividad funcional que tiene que ver con las características del paisaje que facilitan o impiden el movimiento de especies entre hábitats (Taylor *et al.*, 2006). En ambos casos, la habilidad de las especies para moverse o dispersarse a través del paisaje, se integra con las características estructurales (Adriaensen *et al.*, 2003). Por ejemplo, para los procesos de dispersión es importante que los remanentes de bosques mantengan condiciones de hábitat adecuadas para los dispersores y que estos fragmentos no estén muy aislados entre sí, de forma que exista un flujo continuo de las especies.

Un aspecto fundamental es que las áreas protegidas no pueden cumplir sus objetivos de conservación si no tienen conexiones funcionales entre ellas, que permitan los procesos ecológicos como flujo genético, migración de especies, recolonización de áreas con poblaciones amenazadas, y lo más importante, la posibilidad de que individuos y poblaciones se adapten al cambio climático (Rudnick *et al.*, 2012). Muchas de las acciones propuestas en los PACE proponen recuperar o mantener en buenas condiciones los hábitats de especies, sin embargo debido al acelerado proceso de cambio de uso de suelo que está sucediendo inclusive dentro de las ANP (Sahagún-Sánchez y Reyes-Hernández, 2018; Aguilar *et al.*, 2019), a mediano y largo plazo habrán consecuencias negativas importantes, ya que el aislamiento estructural y funcional de áreas con un alto valor para la conservación puede limitar seriamente la capacidad del sistema para mantener los procesos ecológicos y los servicios que provee a las comunidades locales (Rudnick *et al.*, 2012).

¿Qué falta para lograr una efectiva conservación de especies y restauración de sus ecosistemas?

Como se mencionó en la anterior sección ya existen algunos estudios de sitios prioritarios para la conservación de ecosistemas terrestres y acuáticos del país. Sin embargo, la priorización para restauración sólo se tiene para ambientes terrestres, debe complementarse con un análisis similar para los ambientes acuáticos y marinos del país, los cuales también tienen una extensión

considerable y una riqueza notable que está en permanente amenaza por diversas actividades antrópicas. Tener esta información actualizada y enriquecida por diversas fuentes podría incluirse en los programas de manejo de las ANP que existen en el país (federales, estatales, municipales, RAMSAR, refugios, hábitats críticos).

La funcionalidad de los PACES para la conservación de especies y restauración de ecosistemas

Se evaluó un total de nueve PACE de especies que se distribuyen en la región sureste de México, tanto en ecosistemas terrestres como marinos. Fueron seleccionadas por su amplia distribución, requerimientos de hábitat específicos, alta importancia ecológica y representatividad de diferentes ecosistemas.

Jaguar (*Panthera onca*)

Es depredador tope en la cadena trófica, por lo que tiene un papel ecológico fundamental al regular las poblaciones de sus presas. Su conservación es importante porque

tiene una amplia distribución que permite abarcar una gran diversidad de ecosistemas que deben ser preservados (figura 1). Uno de los mayores problemas asociados a la disminución de las poblaciones de jaguar es la falta de reconocimiento al papel ecológico que cumple esta especie en el ecosistema y los beneficios ambientales que genera (Miller y Rabinowitz, 2002). Está considerada como en peligro de extinción en la NOM 059 (SEMARNAT, 2010). En el PACE para esta especie se proponen como actividades de restauración la identificación de zonas críticas dentro y fuera de las ANP, coordinar

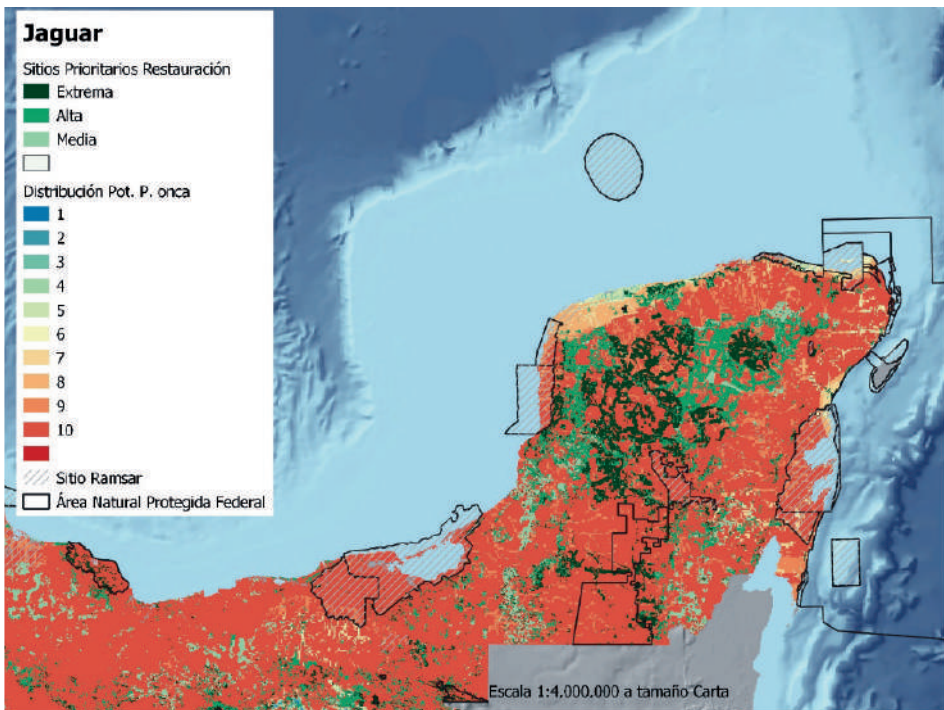


Figura 1. Configuración de la distribución potencial del jaguar (*P. onca*) (Ceballos *et al.*, 2006a) en la península de Yucatán y su traslape con sitios prioritarios para la restauración (CONABIO 2016a), ANP federales y sitios RAMSAR. La distribución potencial se presenta con valores de 1 a 10, en donde 10 es el valor máximo de presencia potencial de la especie.

acciones de restauración para estas zonas e implementarlas.

Monos araña (*Ateles geoffroyi*) y aulladores (*Alouatta palliata* y *Alouatta pigra*)

Los primates son un grupo muy importante por las funciones ecológicas que cumplen, como la dispersión de semillas, lo cual ayuda al mantenimiento de los bosques y la diversidad de especies. También por requerir áreas amplias para su distribución, se pueden considerar especies sombrilla (figura 2 sólo para *A. geoffroyi*). En México, las tres especies se consideran en peligro de extinción en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010). Particularmente para la región de la penín-

sula de Yucatán, las amenazas se relacionan con cambio de uso de suelo para ganadería extensiva y plantaciones agrícolas, tala selectiva de especies forestales y captura para comercio o como mascotas. La protección de estas especies es muy importante, puesto que México es un límite latitudinal extremo de la distribución de primates americanos. En el PACE de las tres especies se plantean dos acciones principales: generación de corredores biológicos para conectar fragmentos de bosque que permitan la movilidad de las poblaciones de monos y promover programas de reforestación con especies de plantas que sean parte de la dieta de estas especies. Aunque ambas acciones son igual muy generales, si están más enfocadas a las

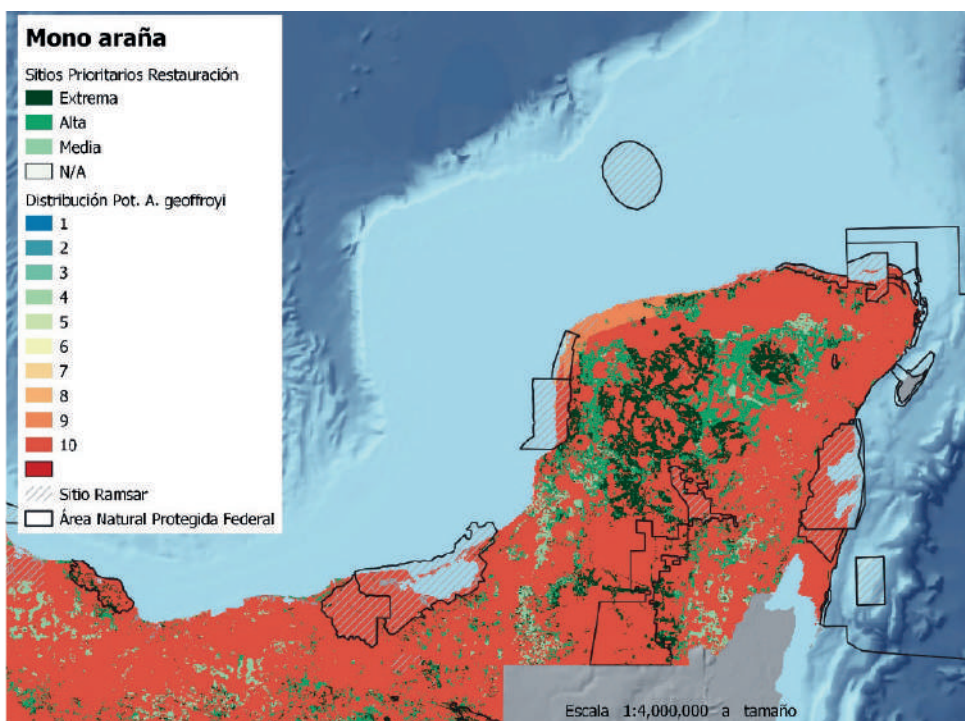


Figura 2. Configuración de la distribución potencial del mono araña (*A. geoffroyi*) (Ceballos *et al.*, 2006b) en la península de Yucatán y su traslape con sitios prioritarios para la restauración (CONABIO 2016a), ANPs federales y sitios RAMSAR. La distribución potencial se presenta con valores de 1 a 10, en donde 10 es el valor máximo de presencia potencial de la especie.

necesidades de estas especies, pensando en la reducción de los factores de perturbación y un incremento en la calidad de su hábitat.

Tapir (*Tapirus bairdii*)

Es uno de los mamíferos terrestres más grandes del Neotrópico y cumple un papel ecológico fundamental por la depredación y dispersión de semillas de una amplia variedad de especies de plantas, lo que favorece la regeneración de las selvas y bosques tropicales. Se distribuye principalmente en la región sureste del país, en un amplio gradiente altitudinal (0-2000 msnm), lo cual le permite abarcar una gran variedad de ecosistemas (figura 3). En México, sus poblaciones son pequeñas y se siguen reduciendo, posiblemente por la intensa cacería

ilegal, ya que son una fuente alimenticia para muchas comunidades rurales. El tapir está catalogado en peligro de extinción en la NOM-059 (SEMARNAT 2010), que se ha incrementado por efecto de la caza y pérdida de hábitat que ha incrementado en los últimos años. En su PACE se proponen diversas acciones desde el desarrollo de talleres para identificar áreas críticas, elaborar diagnósticos de procesos de pérdida de hábitat, gestionar con las comunidades la restauración de zonas degradadas y de importancia para el tapir, además de desarrollar programas de educación ambiental para enseñar la importancia ecológica de la especie y los beneficios que genera a los ecosistemas donde habita.

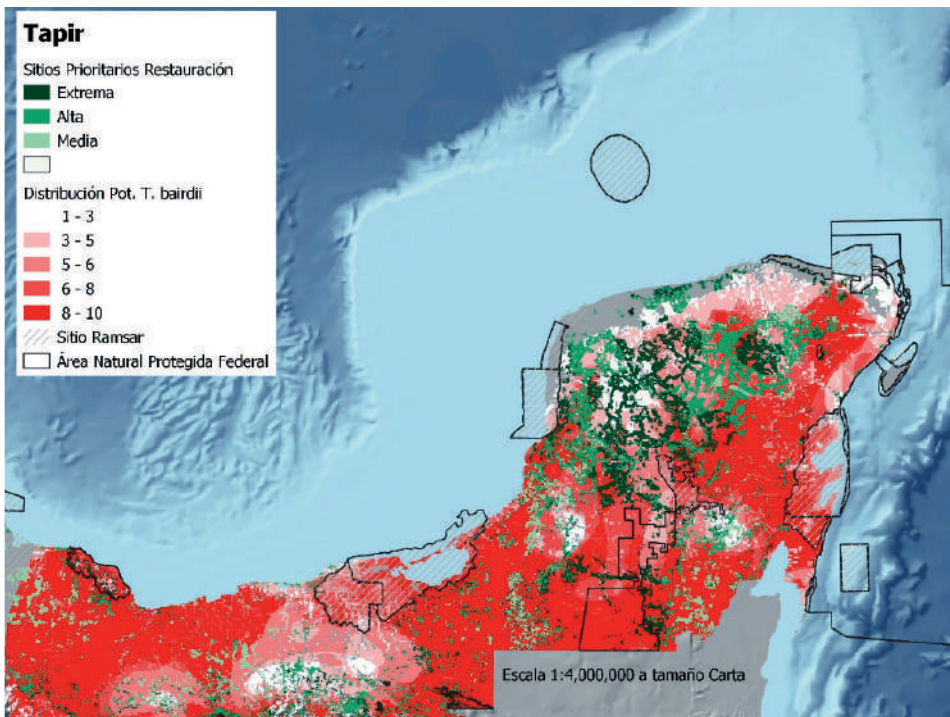


Figura 3. Configuración de la distribución potencial del tapir (*T. bairdii*) (Ceballos *et al.*, 2006c) en la península de Yucatán y su traslape con sitios prioritarios para la restauración (CONABIO 2016a), ANPs y sitios RAMSAR. La distribución potencial se presenta con valores de 1 a 10, en donde 10 es el valor máximo de presencia potencial de la especie.

Tortugas marinas

A nivel mundial se conoce la existencia de siete especies de tortugas marinas, de las cuales se pueden encontrar de forma regular cinco especies en el golfo de México (tortuga verde, *Chelonia mydas*; tortuga carey, *Eretmochelys imbricata*; tortuga caguama, *Caretta caretta*; tortuga lora, *Lepidochelys kempi* y tortuga laúd, *Dermochelys coriacea*) y una sexta especie de la cual se han registrado incursiones desde el Atlántico Central en los últimos años (tortuga golfinia, *Lepidochelys olivacea*) (figura 4). Estas especies se consideran sombrilla y centinela porque son sensibles a numerosas amenazas y sirven como indicadores de impactos negativos en los ecosistemas que habitan (Eckert y Hemphill, 2005; Frazier, 2005).

Se encuentran protegidas por las normas oficiales mexicanas NOM-059 (SEMARNAT 2010) y NOM-162 (SEMARNAT, 2012). Estas especies tienen un complejo ciclo de vida, ocupan diversos ecosistemas marinos y costeros, en los cuales tienen necesidades y preferencias particulares en sus diferentes estadios de vida (Carr *et al.*, 1978; Meylan *et al.*, 2011; Cuevas, 2017). Actualmente todas se encuentran bajo algún nivel de amenaza principalmente por actividades antrópicas. En los PACE de estas especies, se incluyen actividades de restauración específicas en sus hábitats y para sus poblaciones. Para todas se reconoce la necesidad de implementar diversas acciones de restauración de la playa arenosa emergida en sus áreas de anidación (tabla 1).

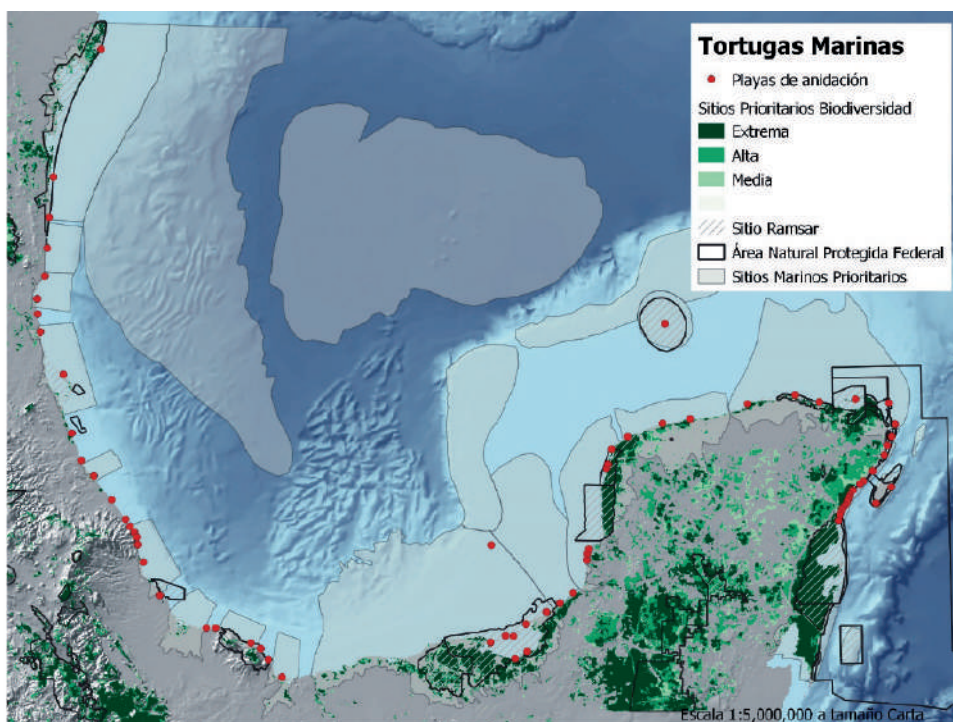


Figura 4. Distribución de las principales playas de anidación de tortugas marinas en la región del golfo de México y su coincidencia con sitios marinos prioritarios (CONABIO, 1998) y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad en México (CONABIO, 2016b).

Tabla 1. Acciones de restauración específicas propuestas en los Programas de Acción para la Conservación (PACE) de las especies tortuga carey (*E. imbricata*), verde/blanca (*C. mydas*), caguama (*C. caretta*) y laúd (*D. coriacea*).

Acciones	Especies de tortugas			
	Carey	Verde/Blanca	Caguama	Laud
Restitución de sedimentos.	✓		✓	
Reforestación de duna.	✓	✓	✓	
Reforestación de manglar aledaño.			✓	
Eliminación de barreras físicas.	✓		✓	
Disminución de contaminación por luz artificial en sus playas.	✓	✓	✓	✓
Control o erradicación de depredadores introducidos y especies silvestres.	✓	✓		✓
Recolección de residuos sólidos en playa.	✓			✓

Tiburones y rayas

Los tiburones y rayas también se consideran especies sombrilla y centinelas como las tortugas marinas. Hacen parte del grupo de megafauna marina que incluye a especies de gran tamaño, que cumplen un papel de gran importancia ecológica en los ecosistemas marinos (Fossi *et al.*, 2012). La distribución de estos organismos es un aspecto clave como indicadores del estado de salud de los ecosistemas que ocupan. En los últimos años se han registrado disminuciones importantes de varias poblaciones de especies de esta megafauna (Capietto *et al.*, 2014), debido en su mayoría a la expansión de las actividades humanas en mares y costas, propiciando una cascada de efectos negativos sobre los niveles tróficos inferiores (Ferretti *et al.*, 2010; Estes *et al.*, 2011). En el golfo de México existe una importante pesquería de este grupo, del cual existen registros de más de 30 especies pertenecientes al menos a 11 familias (Bonfil, 1997; Baum y Myers, 2004; Aguilar *et al.*, 2014; Pérez-

Jiménez y Méndez-Loeza, 2015; Dorantes-González, 2017). Cabe mencionar que la recuperación de estas especies puede ser difícil debido a sus características de historia de vida (*e.g.* lento crecimiento, madurez tardía y longevidad). Para este grupo de especies existen tres PACE, uno para el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), otro para el tiburón ballena (*Rhincodon typus*) y uno más para tiburones y rayas en general. En el caso del tiburón ballena en el documento no especifican ninguna actividad particular de restauración de su población o hábitat. En los otros documentos, las actividades propuestas se centran en procesos de restauración de sus poblaciones y hábitats y herramientas. De manera particular, se sugiere la evaluación de riesgos a sus poblaciones, procuración de la conectividad entre agregaciones, impulso del manejo integral de cuencas e instrumentación de sistemas de monitoreo de sus poblaciones y hábitats esenciales.

Síntesis de los PACE evaluados

En los ejemplos anteriores se presentaron las acciones propuestas para estas especies clave, sin embargo existe un gran vacío respecto a la implementación y monitoreo de las mismas, de forma que pueda evaluarse el éxito y eficacia de lo establecido en los PACE para la recuperación de las especies y sus ecosistemas asociados. Estos programas debían ser revisados, evaluados y actualizados cada cinco años, pero para algunos de los PACE aquí evaluados, este período de tiempo ya se ha cumplido y no se han hecho los ajustes correspondientes. Esto ha acentuado la crisis para estas especies, ya que las perturbaciones continúan en muchas zonas de la región, aun en las que están bajo algún tipo de protección. Aprovechando que algunos de estos PACE se están actualizando o están en proceso de elaboración, sería altamente recomendable que se propongan acciones específicas que puedan aportar a la recuperación y restauración de las especies y sus hábitats.

La mayoría de las acciones evaluadas se presentan de forma muy general, donde aplicaría el mismo saco para muchas otras especies. Por lo tanto, algunas de las acciones propuestas coinciden, pero no se pueden considerar los mismos indicadores para diferentes especies ya que el uso de recursos y ocupación de hábitat que tienen es particular para cada caso. Si bien la idea tampoco es ser tan minuciosos en el dise-

ño de acciones, si es importante que en el caso de estas especies sombrilla, se propongan acciones y estrategias más puntuales dependiendo de sus actuales amenazas y necesidades. Esta generalidad dificulta aterrizar proyectos de restauración en la región y su posterior monitoreo, porque es difícil establecer metas e indicadores concretos en un nivel tan amplio. Entonces es necesario reducir la escala para diseñar e implementar las estrategias directamente en las zonas de mayor distribución actual de las especies, donde tienen mayor confluencia o las que son críticas para la conectividad de su hábitat.

Los ejemplos presentados de PACE demuestran que si bien se considera la restauración como uno de los puntos fundamentales para ayudar en la conservación de las especies, en la realidad no se tiene claro ni donde ni cuanto se ha hecho en este componente. Esto puede ocasionar un mal manejo y toma de decisiones por parte de los actores involucrados al desconocer o no tener claridad sobre las acciones que deben tomar para preservar a estas especies. Es necesaria una articulación de estos programas con los planes de manejo de las ANP, los ordenamientos territoriales, los ordenamientos ecológicos territoriales y los estudios para el establecimiento de zonas prioritarias de restauración y conservación, de forma que se puedan unificar acciones y maximizar los resultados de las mismas.

Indicadores

El monitoreo de las acciones que se implementan requiere un sistema de evaluación en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de contar con los criterios y elementos

que permitan la adaptación y adecuación de las acciones. En el presente análisis se abordan dos niveles de monitoreo, el primero es en términos de los indicadores pro-

El caso de los mamíferos acuáticos en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos

En la zona sureste del golfo de México se distribuyen tres especies de mamíferos acuáticos que son las toninas (*Tursiops truncatus*), nutria neotropical (*Lontra longicaudis annectens*) y manatí (*Trichechus manatus manatus*). Éstas tienen una presencia particularmente relevante en la región del sistema lagunar laguna de Términos (Gallo-Reynoso, 2013; Santiago-Plata *et al.*, 2013). Las tres especies están consideradas en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010), las primeras dos especies como en peligro de extinción, y la tercera en categoría de información insuficiente para su evaluación. Sin embargo, sólo el manatí cuenta con un PACE publicado oficialmente en 2018, aunque en el caso de la nutria neotropical se encontró que en el 2013 a través del programa PROCER se financió la elaboración de su PACE junto con el castor (*Castor canadensis*).

Estas tres especies de mamíferos acuáticos tienen una interacción estrecha por el uso de espacios adyacentes e incluso sobrepuestos. Particularmente, para la desembocadura del río Candelaria (Laguna de Panlao) se cuenta con avistamientos de las tres especies (Delgado-Estrella, 2015). En el PACE de manatí se proponen en el componente de restauración, el desarrollo de estrategias de prevención, mitigación y restauración de impactos de obra de infraestructura para aplicarlas en zonas donde pueda haber conflictos con la especie, sin brindar detalles para su implementación. En el caso del APFFLT, las desembocaduras de los ríos Candelaria, Balchacah y Palizada, así como las bocas de la laguna: del Carmen y Puerto Real (figura 5), son sitios clave para implementar dichas estrategias, con el valor agregado de que en estas zonas también se presentan la nutria y las toninas (Flores-Sánchez, 2017). Este es un ejemplo de cómo una especie, el manatí, al ser sombrilla puede abarcar las necesidades de actividades específicas de conservación y restauración que pueden beneficiar a otras especies en peligro y si se implementan las acciones puede beneficiar de forma directa e indirecta a otras especies en peligro de extinción como son las nutrias en las zonas de ríos, arroyos y lagunas (cuencas medias), así como a las toninas que se encuentran en la cuenca baja o zona de descarga final.

El hábitat de estas especies y la supervivencia de sus poblaciones se está deteriorando también por la contaminación del agua con sustancias químicas que se vierten directamente a los ríos, como plaguicidas, aguas negras, residuos agrícolas como fertilizantes y desechos de industrias cuenca arriba. Se tienen registros de contaminantes en muestras de tejidos tanto de manatíes (Romero-Calderón *et al.*, 2015) como de toninas (Benítez *et al.*, 2012; Delgado-Estrella *et al.*, 2014; Flores Sánchez *et al.*, 2018). Con base en lo anterior se espera que se propongan otras acciones de restauración enfocadas en el mejoramiento de la calidad del agua de los afluentes, así como regular el uso de sustancias químicas en la agricultura y aplicar las leyes relacionadas con el uso de equipos de pesca en la zona, incluyendo los ríos y la laguna de Términos.

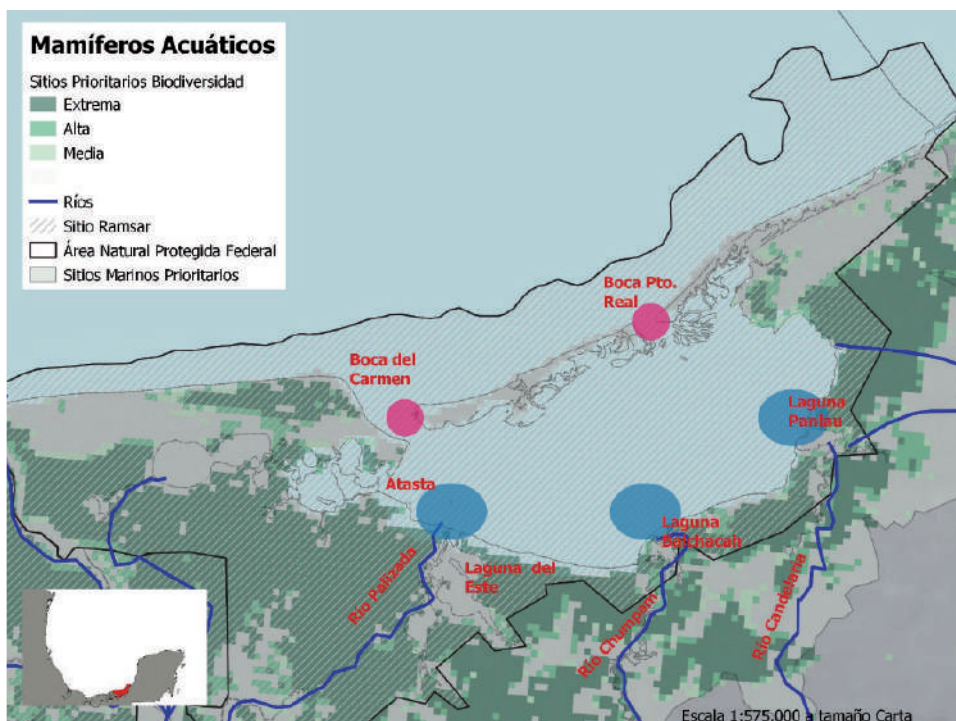


Figura 5. Localización de las áreas de agregación de mamíferos acuáticos en el sistema lagunar laguna de Términos, y su coincidencia con sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad (CONABIO, 2016b). Elipses color azul representan sitios de agregación de manatíes, nutrias y toninas, y elipses color púrpura zonas de toninas únicamente (Fuente de los ríos: Madrey-R y Torres-Ruata, 1990).

pios propuestos en los PACE, y el segundo es relacionado a la inversión de recursos financieros por el Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER), ahora Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies en Riesgo (PRO-REST), que se han asignado para concurso en los últimos siete años a estas especies clave.

Indicadores propuestos en los Programa de Acción para la Conservación de Especies

En el primer nivel de monitoreo, los PACE proponen un conjunto de indicadores de éxito que tendrían que ser un eje para la medición de la efectividad de las acciones

implementadas y con ello tener criterios sólidos para evaluar las condiciones en las que se están manteniendo estas especies en sus hábitats. Sin embargo, como se podrá ver a continuación, estos indicadores igual caen en una generalidad que impide saber si las acciones están funcionando correctamente. Se reconoce que un indicador debe tener las siguientes características: específicos, medibles, alcanzables, relevantes y eficientes (Granizo *et al.*, 2006), características que no necesariamente se cumplen en estos documentos.

Para el caso de jaguar, se propone un aumento del número de actores y programas enfocados a la restauración y número de hectáreas restauradas. Aunque no presen-

tan una línea base con la cual puedan medirse estos incrementos. Para el caso de los monos aulladores y araña igual se proponen indicadores poco precisos como reducir el impacto por tráfico ilegal y aumento de corredores biológicos. De esto se hace la misma crítica que para el caso de jaguar. Respecto al tapir, sólo se propone como indicador el número obras de restauración y hectáreas restauradas, que igual son indicadores poco precisos si no se indica a partir de qué punto se evalúan. En estos casos es importante resaltar que ninguno de los indicadores propuestos está relacionando las acciones de restauración con variables poblacionales de las especies, que serían una medida más concreta para conocer las consecuencias (positivas o no) de estas acciones. Un gran número de hectáreas restauradas no significa necesariamente que esto beneficie a las especies de interés si no se hizo pensando en el mejoramiento de sus hábitats, además de que hacen falta criterios e indicadores para definir si efectivamente esas hectáreas fueron restauradas.

En el caso de las tortugas marinas, los indicadores propuestos en los PACE analizados se basan en las actividades de restauración de sus poblaciones y hábitats críticos en dos conjuntos de variables: de playa y en agua. En el caso del primer grupo son número de playas o áreas de dunas costera y manglar rehabilitadas, el número de estructuras barreras físicas retiradas de las playas, disminución de poblaciones de depredadores feroles o de poblaciones de especies silvestres que se volvieron perjudiciales, la disminución de contaminación lumínica en playa y las campañas realizadas para eliminación de residuos sólidos en playa. Respecto a los indicadores en agua, proponen la reducción del uso de artes de pesca peligrosas para las tortugas marinas y prohibidas en términos

de la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables, su Reglamento y la NOM-029-PESC-2006 (DOF, 2007). Como en el caso de las especies terrestres, también estos indicadores son muy generales y carecen de una propuesta de línea base sobre la cual se puedan analizar y comparar para ver si hay éxito en las acciones realizadas.

Sobre estos indicadores, tanto para especies terrestres como marinas, es importante aclarar que están en algunos casos más propuestos como acciones que deberían ser y no como una variable específica que sea medible y verificable a lo largo del tiempo, lo cual dificulta el proceso de monitoreo que debe acompañar a todo proceso de restauración.

Para los casos de los tiburones y rayas utilizan también indicadores muy amplios como es “incremento en la presencia de programas y acciones de restauración”, lo cual no permite dar un seguimiento directo y conciso de los avances en esta materia para las especies. En definitiva se requiere el mejoramiento sustancial en el diseño de los indicadores para que permitan evaluar los procesos de forma acertada, precisa y constante.

Análisis de inversión de fondos

En lo que se refiere a los fondos destinados a inversión para la restauración de estas especies, de manera general los años 2014, 2015 y 2018 fueron los años de mayores inversiones a nivel nacional en proyectos de conservación, restauración, conocimiento y manejo de especies en peligro y sus hábitats (<https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programa-de-conservacion-de-especies-en-riesgo>). Esta inversión se distribuyó de forma distinta entre las ANP y zonas prioritarias para la conservación en el territorio mexicano, variando el

nivel de atención y las temáticas atendidas en diferentes zonas de ocurrencia de las especies.

Es importante resaltar que en el año 2017 los recursos de PROCER fueron enfocados de manera específica a la vaquita de mar (*Phocoena sinus*) (https://www.conanp.gob.mx/procer/procer_2017.php). A continuación, se presentan algunos ejemplos de las inversiones que se han hecho para algunas de las especies evaluadas en este capítulo. Estos valores se utilizan en el presente análisis como un indicador de la atención e inversión que el gobierno federal ha realizado para la restauración de poblaciones de especies clave y ecosistemas asociados a éstas.

En el caso del jaguar, la inversión de los últimos años ha sido en promedio cerca de un millón de pesos anuales por región de trabajo de la CONANP. De manera particular, el 2015 fue el año con la mayor inversión con casi 12 millones de pesos (figura 6a), mientras que el de menor inversión fue el 2016 con menos de un millón de pesos. Respecto a las inversiones por región de la CONANP, la región Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur es donde más se ha invertido en los últimos siete años (34.92 % del total invertido), con un promedio anual de cerca de tres millones de pesos (figura 6b).

Le siguen en manejo de fondos invertidos la Dirección General de Operación Regional (31.91 % del total invertido), la cual administra proyectos PROCER que tengan injerencia de ejecución en al menos dos regiones CONANP, y generalmente son iniciativas que tienen más bien un ámbito de aplicación nacional.

Para el mono araña (*A. geoffroyi*) el año en el que más inversión se le dedicó fue el año 2015, seguido del 2018 y 2014 con recursos totales cercanos a los cuatro millones de pesos por año (figura 7a). La región de la CONANP a la que más fondos se ha destinado para la restauración de esta especie y sus hábitats también es la de Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur que comprende a los estados de Oaxaca y Chiapas, con poco más del 55 % del total de los recursos en los últimos siete años, particularmente en el año 2018 cuando se destinaron cerca de tres millones de pesos en esa región; le siguen las regiones de Planicie Costera y golfo de México y península de Yucatán y Caribe mexicano (figura 7b).

Por otro lado, la inversión de fondos en proyectos para el tapir fue alrededor de los siete millones de pesos (2018), con un mínimo de medio millón de pesos en el 2016 (figura 8a). Frecuentemente los proyectos

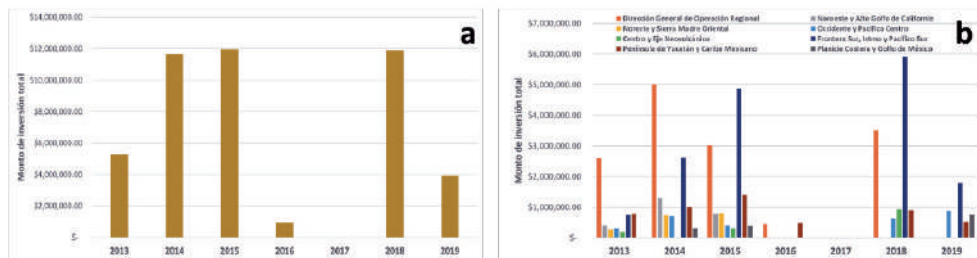


Figura 6. Distribución temporal (a) y espacial (b) de los montos de inversión de los programas PROCER y PROREST destinados a las poblaciones y hábitats de jaguar (*P. onca*), así como a otras iniciativas de conocimiento, protección, cultura y gestión en el territorio en donde se distribuye en México.

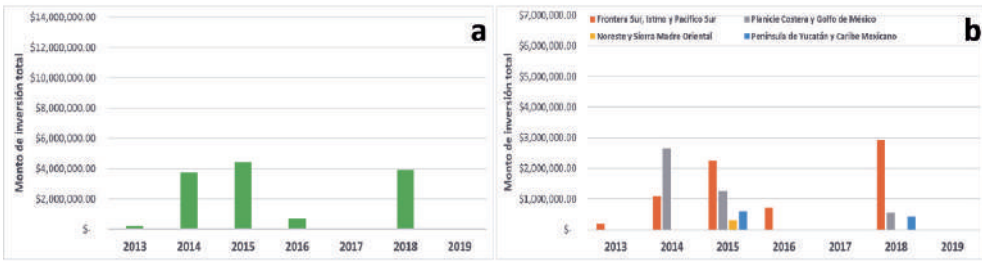


Figura 7. Distribución temporal (a) y espacial (b) de los montos de inversión de los programas PROCER y PROREST destinados a las poblaciones y hábitats del mono araña (*A. geoffroyi*), así como a otras iniciativas de conocimiento, protección, cultura y gestión en el territorio en donde se distribuye en México.

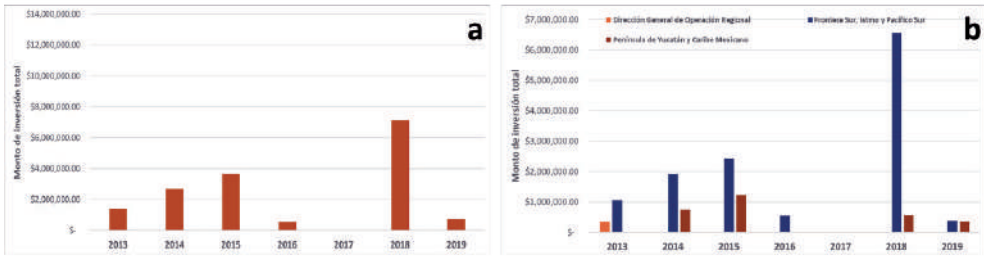


Figura 8. Distribución temporal (a) y espacial (b) de los montos de inversión de los programas PROCER y PROREST destinados a las poblaciones y hábitats de tapir (*T. bairdii*), así como a otras iniciativas de conocimiento, protección, cultura y gestión en el territorio en donde se distribuye en México.

de inversión para esta especie resaltan la interacción ecológica con su depredador el jaguar y otros felinos, así como en la restauración de su hábitat de selva, con lo que se confirma y demuestra la función como especie sombrilla y su impacto en términos del impacto que tienen sobre otras especies y hábitats asociados. Desde el punto de vista de la distribución espacial de las inversiones, fue una vez más la región de Chiapas y Oaxaca (región Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur) la que mayor cantidad de recursos recibió (79.87 %) del total destinado a esta especie en el período evaluado. Le siguió la península de Yucatán y Caribe mexicano (17.96 %) (figura 8b).

Para las tortugas marinas, el análisis de inversión contempló a los proyectos a concurso que se hicieron para todas las especies en México. De esto se desprende que el año con mayor inversión en proyectos de poblaciones de tortugas marinas y sus hábitats fue el 2018 con casi 13 millones de pesos, seguido del 2015 con alrededor de 12 millones de pesos (figura 9a). El año con la menor inversión fue el 2013 con cerca de dos millones de pesos invertidos en todo el territorio mexicano. La región Planicie Costera y golfo de México fue la que mayor participación tuvo en la inversión global de los últimos siete años de PROCER/PROREST (26.90 %), seguida de Frontera Sur, Istmo

y Pacífico Sur (20.88 %), mientras que la que menor participación tuvo fue la región de península de Baja California y Pacífico Norte (7.03 %) (Figura 9b).

Finalmente, para el caso de tiburones y rayas, la inversión que se ha hecho desde este programa ha sido incipiente, probablemente por los conflictos entre aspectos pesqueros y de conservación. La inversión total en los últimos siete años para este grupo de especies en todo el territorio mexicano es de poco menos de cuatro millones de pesos, con el año 2015 en el que se abrió el concurso por una inversión de poco más

de dos millones de pesos, lo que representa más del 50 % de la inversión total (figura 10a). La mayor inversión para este grupo de especies se ha realizado directamente por la Dirección de Operación Regional de la CONANP (40.98 %), con la implementación de iniciativas de impacto nacional o al menos de más de una región de jurisdicción de la CONANP, junto con inversiones muy cercanas en porcentaje para la región península de Baja California y Pacífico Norte (40.35 %), que representan inversiones de poco más de 1.5 millones de pesos en cada caso (figura 10b).



Figura 9. Distribución temporal (a) y espacial (b) de los montos de inversión de los programas PROCER y PROREST destinados a las poblaciones y hábitats de tortugas marinas así como a otras iniciativas de conocimiento, protección, cultura y gestión en el territorio en donde se distribuye en México.

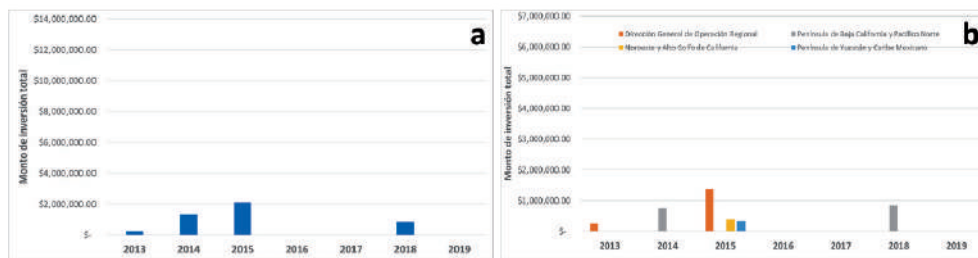


Figura 10. Distribución temporal (a) y espacial (b) de los montos de inversión de los programas PROCER y PROREST destinados a las poblaciones y hábitats de tiburones y rayas así como a otras iniciativas de conocimiento, protección, cultura y gestión en el territorio en donde se distribuye en México.

Lecciones aprendidas

Desde los programas PROCER y PROREST se tiene una visión principalmente de especies focales, teniendo una incidencia directa e indirecta sobre varias especies no prioritarias para la conservación y sobre ecosistemas relevantes a partir del efecto sombra que tienen las especies de interés para las cuales se han promovido los recursos. A partir de estas inversiones se han podido implementar algunas estrategias de restauración y conservación de ecosistemas *per se* como es el caso de las playas de anidación de tortugas marinas en las que se restaura la vegetación de duna costera y la morfología de la playa (Cuevas *et al.*, 2018), así como en la elaboración de pasos de fauna para felinos y sus presas en zonas de ampliación de carreteras federales (García-Contreras *et al.*, 2011), aunque esta visión no siempre se tuvo en todos los términos de referencia de los proyectos. Este papel de las especies prioritarias para la conservación ha sido el fundamento de estos programas, sin embargo también se están apoyando algunos proyectos que directamente se relacionan con la restauración de ecosistemas, particularmente en la convocatoria 2019 de PROREST. Es necesario que exista una evaluación a mayor profundidad de las inversiones de estos programas que han tenido una orientación ecosistémica, más que meramente sobre una especie o grupo de especies, con lo cual se podría tener datos concretos sobre la eficacia y eficiencia de la inversión pública en proyectos de restauración, conservación y manejo de ecosistemas y especies prioritarios.

Si bien esta aproximación de conservación y restauración por especies focales puede ser funcional, algunos estudios señalan que es altamente delicado asumir que

al conservar o restaurar una especie clave se estará incidiendo de forma efectiva en la restauración y conservación de otras especies y ecosistemas asociados, por lo cual no puede considerarse una regla general (Palmer *et al.*, 1997; Lindenmayer *et al.*, 2002; Lieberman *et al.*, 2018). La restauración depende mucho del contexto específico del ecosistema o la especie de interés y ningún extremo es bueno, ni acciones tan generales que sean difíciles de monitorear en el tiempo ni tan específicas que reduzcan el esfuerzo a las necesidades o requerimientos particulares de una especie o hábitat. Una premisa fundamental en la planeación de la restauración es que todos los sistemas están interconectados, por lo tanto, una mala o equivocada implementación puede afectar zonas que están bien conservadas y empeorar los problemas de degradación que se querían atacar inicialmente. Un ejemplo son las reforestaciones que se hacen con el fin de recuperar cobertura de suelo y crear hábitat para algunas especies, sin embargo si se usan árboles que no son nativos y que están adaptados a otras condiciones climáticas, no logrará establecerse ninguna vegetación y puede alterar de forma negativa las condiciones ambientales de los sitios, lo cual podría impedir la regeneración del ecosistema a partir de sus fuentes naturales de propágulos.

Finalmente, cabe destacar que de forma similar a la visión de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), también es necesario y urgente trabajar en la definición de los ecosistemas prioritarios para la conservación en México. Hay algunos avances como los realizados por la CONABIO con evaluaciones de vacíos y sitios prioritarios para con-

servación y restauración (CONABIO, 1998, 2016a, 2016b), que contribuyen a generar una línea base para un mejor manejo de los ecosistemas. Sin embargo, esto debe articularse con todas las políticas públicas y legislación en el tema ambiental que existen actualmente, de forma que todos los esfuerzos e inversiones se optimicen y se dirijan a donde hay mayor necesidad de acción. Un paso fundamental que igual puede aportar

para un mejor manejo de los ecosistemas es generar y consolidar el Plan Nacional de Restauración de México, en el cual se pueden definir metas, indicadores y plazos concretos para el diseño, implementación y monitoreo de los proyectos de restauración de ecosistemas en el país, en particular en zonas tan vulnerables pero de tanta riqueza biológica como el sureste mexicano.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Si bien desde las estrategias federales, e incluso algunas estatales, se visualiza el contar con un documento rector que guíe las acciones de conservación y restauración de las especies prioritarias para la conservación en México, como un paso básico e inicial para la inversión estratégica y eficaz de recursos, la ausencia de tal herramienta no debe ser limitante para la implementación de acciones inmediatas y directas para un adecuado manejo de las especies y ecosistemas clave en nuestra región. Herramientas como las priorizaciones elaboradas por la CONABIO (2008a y 2008b) abren oportunidades de planeación para la implementación de acciones en el corto y mediano plazo en nuestro país.

Lo que sí es clave para acciones eficaces de conservación y restauración de las especies y ecosistemas es tener una línea base sólida de sus condiciones actuales y contar con indicadores específicos, medibles, realistas y sensibles sobre aspectos que reflejen su funcionamiento. Para lograr esta definición de indicadores es necesario que al igual que en el ejercicio de los PACE se considere la opinión de expertos investigadores, junto con otros actores que representen a otros gru-

pos de la sociedad y que de alguna están involucrados con estas especies clave o ecosistemas. Un factor fundamental para el buen desarrollo de proyectos de restauración es lograr involucrar a diferentes actores desde las fases iniciales para que entre todos se logren concertar los objetivos, acciones e indicadores que permitirán el monitoreo de los procesos. Sin una vinculación activa y sin una supervisión eficiente de las fuentes financiadoras, es poco probable que las acciones de restauración lleguen a buen término, lo cual impediría que los ecosistemas se recuperen y sean capaces de mantener a toda la fauna asociada, sean especies clave o no. Esto también debe considerarse bajo un manejo adaptativo según las condiciones variables que estamos experimentando en diversos niveles, por lo tanto la restauración debe ser flexible ante esta variabilidad y por supuesto es indispensable reducir todas las actividades humanas que están degradando los ecosistemas, como el cambio de uso de suelo en áreas naturales para darle algún tipo de aprovechamiento, de forma que permita la conservación de la riqueza que aún conservamos en particular en la región sureste de México.

Literatura citada

- Agardy T., G. di-Sciara, y P. Christie, 2011. Mind the gap: Addressing the shortcomings of marine protected areas through large scale marine spatial planning. *Marine Policy*, 35: 226-232. doi: 10.1016/j.marpol.2010.10.006
- Aguilar, R., M. Hernández, R. Santos, O. Rosas, y C. Gervacio, 2019. Cambio de uso de suelo, fragmentación del paisaje y la conservación de *Leopardus pardalis* Linnaeus, 1758. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(52).
- Aguilar, C., G. González-Sansón, R. Hueter, E. Rojas, Y. Cabrera, A. Briones, R. Borroto, A. Hernández, y P. Baker, 2014. Captura de tiburones en la región noroccidental de Cuba. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(3): 477-487.
- Adriaenssen, F., J. Chardon, G. De Blust, E. Swinnen, S. Villalba, H. Gulnick, y E. Matthyssen, 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64: 233-247.
- Badano, E., y L. Cavieres, 2006. Ecosystem engineering across ecosystems: do engineer species sharing common features have generalized or idiosyncratic effects on species diversity? *Journal of Biogeography*, 33(2): 304-313. doi: 10.1111/j.1365-2699.2005.01384.x
- Baum, J. K., y R. Myers, 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. *Ecology Letters*, 7: 135-145.
- Benítez, J.A., J. Vidal, T. Bricchieri-Colombi, y A. Delgado-Estrella, 2012. Monitoring ecosystem health of the Terminos Lagoon region using heavy metals as environmental indicators. p. 349-358. In: C.A. Brebbia and T-S. Chon (Eds). WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol. 162. WIT Press.
- Bonfil, R., 1997. Status of shark resources in the southern Gulf of Mexico and Caribbean: implications for management. *Fisheries Research*, 29: 101-117.
- Capietto, A., L. Escalle, P. Chavance, L. Dubroca, A.D. de Molina, H. Murua, L. Floch, A. Damiano, D. Rowat, y B. Merigot, 2014. Mortality of marine megafauna induced by fisheries: Insights from the whale shark, the world's largest fish. *Biological Conservation*, 174: 147-151.
- Carr, A., M. Carr, y A. Meylan, 1978. The ecology and migrations of sea turtles. 7, The West Caribbean green turtle colony. *Bulletin of the AMNH*, 162, article 1.
- Ceballos, G., S. Blanco, C. González, y E. Martínez, 2006a. *Panthera onca* (Jaguar, tigre) delimitada, con base al Atlas Mastozoológico de México. Distribución potencial, escala: 1:1000000. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto: DS006, Extraído del proyecto DS006 Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP. Escala 1:1000000. Proyecto financiado por CONABIO, México.
- Ceballos, G., S. Blanco, C. González, y E. Martínez, 2006b. *Ateles geoffroyi* (Mono araña) delimitada, con base al Atlas Mastozoológico de México. Distribución potencial, escala: 1:1000000. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto: DS006, Extraído del proyecto DS006 'Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP'. Escala 1:1000000. Proyecto financiado por CONABIO, México.
- Ceballos, G., S. Blanco, C. González, y E. Martínez, 2006c. *Tapirus bairdii* (Tapir) delimitada, con base al Atlas Mastozoológico de México. Distribución potencial, escala: 1:1000000. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto: DS006, Extraído del proyecto DS006 'Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP'. Escala 1:1000000. Proyecto financiado por CONABIO, México.
- CONABIO, 1998. Regiones Marinas Prioritarias de México'. Escala 1:4000000. México. Financiado por -USAID-Packard Foundation-CONABIO-WWF-FMCN.
- CONABIO, 2008a. Sitios prioritarios terrestres para la conservación de la biodiversidad. Catálogo de metadatos geográficos. Consultado en línea (http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/spt1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no) Mayo 2019.
- CONABIO, 2008b. Sitios prioritarios marinos para la conservación de la biodiversidad. Catálogo de metadatos geográficos. Consultado en línea (http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/spm1mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no) Mayo 2019.

- CONABIO, 2016a. Sitios prioritarios para la restauración, escala: 1:1 000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONABIO, 2016b. Sitios de atención prioritaria para la conservación de la biodiversidad, escala: 1:1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Cuevas, E., 2017. Dimensiones espacial y temporal de los procesos de selección de hábitats críticos por las tortugas marinas. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(2): 187-199.
- Cuevas, E., V. Guzmán-Hernández, D. Lira, M. Frias-López, P. Huerta-Rodríguez, D. Garrido-Chávez, y M. López-Castro, 2018. Influence of hard and soft structures for beach recovery and stabilization on sea turtle nesting habitats in the Yucatan peninsula, Mexico. En: J. A. Daniels (Ed.) *Advances in Environmental Research*. 62: 41-82. NOVA Publishers.
- Daly, R., M.J. Smale, S. Singh, D. Anders, M. Shivji, C.A.K. Daly, J.S.E. Lea, L.L. Sousa, B.M. Wetherbee, R. Fitzpatrick, C.R. Clarke, M. Sheaves, y A. Barnett, 2018. Refuges and risks: Evaluating the benefits of an expanded MPA network for mobile apex predators. *Biodiversity Research*, 2018: 1- 4.
- Delgado Estrella, A., 2015. Patrones de residencia y movimientos a largo plazo de las toninas *Tursiops truncatus*, en la región sureste del Golfo de México. *THERYA*, 6(2): 297-314.
- Delgado-Estrella, A., G. Rivas-Hernández., M.R. Barreto-Castro, y G. Acevedo- Olvera. 2014. Determinación de metales pesados en biopsias de toninas colectadas en la región de la laguna de Términos, Campeche, México. p. 580-591. En: A. V. Botello, Jaime Rendón Von Osten, Jorge A. Benítez Torres y Gerardo Gold Bouchot (Eds.). "Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias", UAC, UNAM-ICMyL CINVESTAV/IPN Unidad Mérida. 1174 pp. ISBN 978-607-7887-71-3. México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2007. Norma oficial mexicana NOM-029-PESC-2006. Pesca responsable de tiburones y rayas, especificaciones para su aprovechamiento. Publicado el 14 de febrero de 2007. Consultado en línea (<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3438/1/nom-029-pesc-2006.pdf>) Mayo 2019.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2014. Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Consultado en línea (http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334865&fecha=05/03/2014). Mayo 2019.
- Dorantes-González, M. A., 2017. Tendencias de captura y caracterización del mercado de tiburón en el sur del Golfo de México y Caribe Mexicano. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. 78 p.
- Eckert, K., y A. Hemphill, 2005. Sea turtles as flagships for protection of the wider Caribbean region. *Maritime Studies*, 3(2): 4.
- Estes, J.A., J. Terborgh, J.S. Brashares, M.E. Power, J. Berger, W.J. Bond, S.R. Carpenter, T.E. Essington, R.D. Holt, y J.B. Jackson, 2011. Degradación trófica del planeta tierra. *Science*, 333: 301-306.
- Ferretti, F., B. Worm, G.L. Britten, M.R. Heithaus, y H.K. Lotze, 2010. Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecology letters*, 8: 1055-1071.
- Flores-Sánchez, E., A. García-Salinas., A. Delgado-Estrella., S. Calderón-Garcidueñas, R. Waliszewski, R. Infanzón-Ruiz, y R. Ruiz-Ramos, 2018. Presencia de plaguicidas organoclorados en muestras biológicas de toninas (*Tursiops truncatus*) y manatíes (*Trichechus manatus manatus*) colectadas en el sur del golfo de México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34: 17-28
- Flores-Sánchez, E., 2017. Evaluación de contaminación por plaguicidas organoclorados en la Laguna de Términos, *Tursiops truncatus* como especie centinela. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Carmen. 71 p.
- Frazier, J.G., 2005. Marine turtles: the role of flagship species in interactions between people and the sea. *MAST*. 4 (1):5-38.
- Fossi, M.C., S. Casini, I. Caliani, C. Panti, L. Marsili, A. Viarengo, R. Giangreco, G.N. di Sciarra, F. Serena, A. Ouerghi, y M. Depledge, 2012. The role of large marine vertebrates in the assessment of the quality of pelagic marine ecosystems. *Marine Environmental Research*, 77: 156-158.
- Gallo-Reynoso, J., 2013. Perspectiva histórica de las nutrias en México. *THERYA*, 4(2): 191-199.

- García-Contreras, G., E. Acosta-Lugo, J.C. Carrillo, y M. Andrade-Hernández, 2011. Maintaining Maya forest connectivity in a changing landscape: Calakmul Biosphere Reserve and Mexico's highway 186. p. 60-73. ICOET 2011 Proceedings.
- Giakoumi, S., B.S. Halpern, L.N. Michel, S. Gobert, M. Sini, C.F. Boudouresque, M.C. Gambi, S. Katsanevakis, P. Lejeune, M. Montefalcone, G. Pergent, C. Pergent-Martini, P. Sanchez-Jerez, B. Velmirov, S. Vizzini, A. Abadie, M. Coll, P. Guidetti, F. Micheli, y H.P. Possingham, 2015. Towards a framework for assessment and management of cumulative human impacts on marine food webs. *Conservation Biology*, doi: 10.1111/cobi.12468.
- Gómez-Ruíz, P. A., y R.L. Lindig- Cisneros, 2017. La restauración ecológica clásica y los retos de la actualidad: La migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2): 31-51. doi: 10.15359/rca.51-2.2
- Granizo, T., M. Molina, E. Secaira, B. Herrera, S. Benítez, O. Maldonado, M. Libby, P. Arroyo, SIsola, y M. Castro, 2006. Manual de Planificación para la Conservación de Áreas, PCA. 1st ed. The Nature Conservancy/USAID, Quito, Ecuador.
- Halpern, B.S., M. Frazier, J. Potapenko, K.S. Casey, K. Koenig, C. Longo, J.S. Lowndes, R.C. Rockwood, E.R. Selig, K.A. Selkoe, y S. Walbridge, 2015. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, doi:101038/ncomms8615.
- Hiers, J.K., S.T. Jackson, R.J. Hobbs, E.S. Bernhardt, y L.E. Valentine, 2016. The precision problem in conservation and restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(11): 820-830. doi: 10.1016/j.tree.2016.08.001.
- Jepson, P., y M. Barua, 2015. A theory of flagship species action. *Conservation and Society*, 13(1): 95-104. doi: 10.4103/0972-4923.161228.
- Kalinkat, G., J. Cabral, W. Darwall, G. Ficetola, J. Fisher, D. Giling, M. Gosselin, H. Grossart S. Jähniq, J. Jeschke, K. Knopf, S. Larsen, G. Onandia, M. Pätzig, W. Saul, G. Singer, E. Sperfeld, y I. Jarić, 2017. Flagship umbrella species needed for the conservation of overlooked aquatic biodiversity. *Conservation Biology*, 31(2): 481-485. doi: 10.1111/cobi.12813.
- Lieberman, L., B. Hahn, y P. Landres, 2018. Manipulating the wild: a survey of restoration and management interventions in US wilderness. *Restoration ecology*, 26(5): 900-908.
- Lindenmayer, D.B., A.D. Manning, P.L. Smith, H.P. Possingham, J. Fischer, I. Oliver, y M.A. McCarthy, 2002. The focal-species approach and landscape restoration: a critique. *Conservation Biology*, 2: 338-345.
- Maderey-R, L., y C. Torres-Ruata, 1990. Hidrografía. Extraído de Hidrografía e hidrometría, IV.6.1 (A). Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Maslo, B., K. Leu, C. Faillace, M.A. Weston, T. Pover, y T.A. Schlacher, 2016. Selecting umbrella species for conservation: A test of habitat models and niche overlap for beach-nesting birds. *Biological conservation*, 203: 233-242. doi: 10.1016/j.biocon.2016.09.012
- Maxwell, S.M., E.L. Hazen, S.J. Bograd, B.S. Halpern, G.A. Breed, B. Nickel, N.M. Teutschel, L.B. Crowder, S. Benson, P.H. Dutton, H. Bailey, M.A. Kappes, C.E. Kuhn, M.J. Weise, B. Mate, S.A. Shaffer, J.L. Hassirck, R.W. Henry, L. Irvine, B.L. McDonal, P.W. Robinson, B.A. Block, y D.P. Costa, 2013. Cumulative human impacts on marine predators. *Nature Communications*, doi:101038/ncomms3688.
- Méndez-Toribio, M., C. Martínez-Garza, E. Ceccon, y M. Guariguata, 2018. La restauración de ecosistemas terrestres en México: Estado actual, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 185. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Méndez-Toribio, M., C. Martinez, E. Ceccon, y M.R. Guariguata, 2017. Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2): 1-30. doi: 10.15359/rca.51-2.1
- Meylan, P., A. Meylan, y J. Gray, 2011. The ecology and migrations of sea turtles 8. Tests of the developmental habitat hypothesis. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1-70.
- Miller, B., y A. Rabinowitz, 2002. ¿Por qué conservar al Jaguar? p. 303-315, En: Medellín, R., C. Equihua, C. Chetkiewicz, A. Rabinowitz, P. Crawshaw, K. Redford, J. G. Robinson, E. Sanderson, & A. Tabler, (compiladores). El Jaguar en el Nuevo Milenio. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife. Conservation Society. México D.F.

- Oriol-Cotterill, A., M. Valeix, L. Frank, C. Riginos, y D. MacDonald, 2015. Landscapes of coexistence for terrestrial carnivores: The ecological consequences of being downgraded from ultimate to penultimate predator by humans. *Oikos*, doi:10.1111/oik.02224. doi: 10.1111/oik.02224.
- Palmer, M., R. Ambrose, y N. Poff, 1997. Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration ecology*, 5(4): 291-300.
- Pérez-Jiménez, J., y I. Mendez-Loeza, 2015. The small-scale shark fisheries in the southern Gulf of Mexico: Understanding their heterogeneity to improve their management. *Fisheries Research*, 172: 96-104.
- Roberge, J., y P. Angelstam, 2004. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conservation biology*, 18(1): 76-85. doi: doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00450.x
- Romero-Calderón A. G., B. Morales-Vela, R. Rosiles-Martínez, L. D. Olivera-Gómez, y A. Delgado-Estrella, 2015. Metals in Bone Tissue of Antillean Manatees from the Gulf of Mexico and Chetumal Bay, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, DOI 10.1007/s00128-015-1674-6.
- Rudnick, D., S. Ryan, P. Beier, S. Cushman, F. Dieffenbach, C. Epps, L. Gerber, J. Hartter, J. Jenness, J. Kintsch, A. Merenlender, R. Perkl, D. Preziosi, y S. Trombulak, 2012. The role of landscape connectivity in planning and implementing conservation and restoration priorities. *Issues in Ecology*, 16: 20–20.
- Sahagún-Sánchez, F., y H. Reyes-Hernández, 2018. Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *Ciencia UAT*, 12(2): 6-21.
- Salafsky, N., J. Boshoven, Z. Burivalova, N.S. Dubois, A. Gomez, A. Johnson, A. Lee, R. Margoluis, J. Morrison, M. Muir, S.C. Pratt, A.S. Pullin, D. Salzer, A. Stewart, W.J. Sutherland, y C.F.R. Wordley, 2019. Defining and using evidence in conservation practice. *Conservation Science and Practice*, doi:10.1111/csp2.27.
- Santiago-Plata, V., J. Valdez-Leal, C. Pacheco-Figueroa, F. Cruz-Burelo, y E. Moguel-Ordoñez, 2013. Aspectos ecológicos de la nutria neotropical (*Lontra longicaudis arnetensis*) en el camino La Veleta en Laguna de Términos, Campeche, México. *THERYA*, 4(2): 265-280.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre, 2010. Consultado en línea (http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091) Mayo 2019.
- SEMARNAT, 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2012, Que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación. Diario Oficial de la Federación 1 de febrero, 2013. Consultado en línea (https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286506&fecha=01/02/2013) Mayo 2019.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Strassburg, B. B., H.L. Beyer, R. Crouzeilles, A. Iribarrem, F. Barros, M.F. de Siqueira, A. Sánchez-Tapia, A. Balmford, J. Barreto, P. Brancalion, E. Broadbent, R. Chazdon, A. Oliveira, T. Gardner, A. Gordon, A. Latawiec, R. Loyola, J. Metzger, M. Mills, H. Possingham, R. Ribeiro, C. Scaramuzza, F. Scarano, L. Tambosi, y M. Uriarte. 2019. Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. *Nature ecology & Evolution*, 3(1): 62.doi: 10.1038/s41559-018-0743-8.
- Taylor P., Fahrig L., y K. With, 2006. Landscape connectivity: A return to the basics. p 29-43. In: Crooks, K. & Sanjayan, M. (Eds.) *Connectivity Conservation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Tilman, D., M. Clark, D.R. Williams, K. Kimmel, S. Polasky, y C. Packer, 2017. Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 7656: 73.
- Timpane-Padgham, B., T. Beechle, y T. Klinger, 2017. A systematic review of ecological attributes that confer resilience to climate change in environmental restoration. *PLoS ONE*, 12(3): e0173612.
- Tischendorf, L., y L. Fahrig, 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90: 7-19. doi: 10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x.

- Tobón, W., T. Urquiza-Haas, P. Koleff, M. Schröter, R. Ortega-Álvarez, J. Campo, R. Lindig, J. Sarukhán, y A. Bonn, 2017. Restoration planning to guide Aichi targets in a megadiverse country. *Conservation Biology*, 31(5): 1086-1097. doi: 10.1111/cobi.12918.
- Valera-Bermejo, A., R. Ramírez-Álvarez, y E. Quintero, 2016. Especies prioritarias para la conservación de la biodiversidad: El caso de México. *Biodiversitas*, 128: 1-5.
- Zupan M., F. Bulleri, J. Evans, S. Fraschetti, P. Guidetti, A. Garcia-Rubies, M. Sostres, V. Asnaghi, A. Caro, S. Deudero, R. Goñi, G. Guamieri, F. Guilhaumon, D. Kersting, A. Kokkali, C. Kruschel, V. Macic, L. Mangialajo, S. Mallol, E. Macpherson, A. Panucci, M. Radolovic, M. Ramdani, P.J. Schembri, A. Terlizzi, E. Villa, y J. Claudet, 2018. How good is your marine protected area at curbing threats? *Biological Conservation*, 208: 237-245.

Pesquerías y variabilidad ambiental vs gobernanza, algunas reflexiones

*J. Ramos Miranda, L. A. Ayala Pérez, Y. Torres Rojas,
F. Gómez Criollo y D. Flores Hernández*

Resumen

La pesca es sin duda una de las principales fuentes primarias de alimento a nivel mundial, esta actividad engloba varios aspectos que, a pesar de estar entrelazados, no son atendidos de manera integral, por lo que el objetivo global que por sí mismo conlleva la actividad, como generadora de alimentos y bienestar para quienes la realizan no se cumple. El actor principal es el pescador, cuyo precepto es obtener recursos para generar ingresos, es decir no importa si puede o no capturar el recurso, simplemente lo captura porque es su fuente de ingresos y alimento, por lo tanto, puede incrementar el esfuerzo de pesca sobre un recurso, mejorando la tecnificación de la embarcación, del arte de pesca, del equipo de localización, del sitio de pesca, etc. La actividad pesquera se centra en los recursos objetivo, a los que se asocian otras especies capturadas, este aspecto puede afectar al ecosistema teniendo posibles efectos en la cadena trófica. En este punto, la ordenación pesquera debe considerar

el impacto de la actividad sobre el ecosistema en su conjunto para tener una utilización sostenible de los ecosistemas y de las comunidades biológicas. Aunado a esto, se asocia la variabilidad ambiental (modificaciones de temperatura, salinidad, pH, patrones de corrientes, mareas, descarga de ríos, aportes de sedimentación), además de las tormentas, huracanes, ciclones e inundaciones, que por sí mismas pueden modificar la distribución de las poblaciones biológicas en escalas de tiempo y espacio. Estas pueden influir en la viabilidad de huevos y larvas, en las tasas de reclutamiento, reproducción y mortalidad de las poblaciones, lo que repercute en la abundancia, tamaño, permanencia y persistencia. En este contexto, la base de la ordenación pesquera debe tomar en cuenta esta variabilidad para sugerir el nivel de esfuerzo de pesca que se puede aplicar y mantener la sostenibilidad de los recursos y del capital humano. La ordenación pesquera debe realizarse a partir de los Planes de Manejo, basados en el Enfoque Ecosistémico de las Pesquerías (EEP) que surgió de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982 así como de la Conferencia Mundial de la FAO sobre *Ordenación y Desarrollo Pesquero*. La finalidad de los principios fundamentales EEP es asegurar que *“a pesar de la variabilidad, la incertidumbre y los probables cambios naturales en el ecosistema, la capacidad de los ecosistemas acuáticos para producir alimentos, ingresos, empleo y, de forma general, otros servicios y medios de subsistencia esenciales se mantengan indefinidamente en beneficio de las generaciones presentes y futuras”*. Además, FAO (2001), señaló que este manejo no puede ser efectivo si se carece de una política para reducir la sobrepesca, proteger los hábitats y apoyar e intensificar las investigaciones y evaluaciones. La política pesquera tiene bien establecidos los instrumentos para su ordenación y manejo. El gestor necesariamente deberá entender la naturaleza de estos instrumentos y en qué forma se relacionan, de tal manera que comprenda como una diferencia en la interpretación de los mismos afectan el proceso ecosistémico imposibilitando su seguimiento o ejecución. Entre los acuerdos normativos esenciales que inciden en los acuerdos institucionales están los enfoques en la ordenación pesquera, la colaboración de todos los actores y usuarios interesados, las características del ecosistema, incluida la asignación de derechos de uso y la coordinación e interacción entre sectores y, considerado el más importante, el enfoque precautorio. En éste año, la FAO acaba de impulsar el instrumento de carácter internacional sobre *“Directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad de la pesca en pequeña escala en el contexto de la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza (Directrices PPE)”*, cuyos objetivos primordiales son: 1) Mejorar la aportación de la pesca en pequeña escala a la seguridad alimentaria y la nutrición mundial así como apoyar la realización progresiva del derecho a una alimentación adecuada y 2) Promover la contribución de la pesca en pequeña escala a un futuro sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental para el planeta y sus habitantes. Este capítulo pretende realizar una reflexión sobre la compleja relación entre las pesquerías, la variabilidad ambiental y la gobernanza.

Palabras clave: Campeche, gobernanza, pesca artesanal, variabilidad ambiental.

Introducción

En años recientes los gobiernos de numerosos países han hecho esfuerzos para mejorar su capacidad de manejo con el fin de conservar la calidad del ambiente reconocido como el mayor capital. Para esto, se asume que el manejo de diversas actividades antrópicas es necesario con el fin de reducir los impactos sobre la naturaleza. Otro aspecto cuyo origen es también antrópico y que tiene un efecto considerable sobre el ambiente y sus recursos, es el cambio climático. Este fenómeno aunado al deterioro de ecosistemas genera una fuerte variabilidad de los recursos pesqueros, pudiendo tener impactos en el desarrollo de las actividades pesqueras, su economía y aun la generación de alimentos. En el manejo de los recursos naturales se ha hecho hincapié en el enfoque ecosistémico del ambiente, lo cual incluye a las pesquerías. Asimismo, este manejo incluye el concepto de gobernanza, que es un factor de gran importancia para alcanzar los objetivos y metas de la administración ambiental; el cual ha sido ampliamente analizado por Rivera Arriaga (2010). En el contexto de este trabajo, se utilizará la gobernanza de manera pragmática en el sentido de participación de la sociedad civil en la toma de decisiones para el manejo de los recursos pesqueros; esto en el contexto de coordinación de las dependencias de los tres órdenes de gobierno.

En el sur del golfo de México, existen ejemplos de los esfuerzos realizados por los gobiernos federal, estatal y municipal, en interacción con usuarios interesados, las ONG y la sociedad civil en general, para el manejo del ambiente, dando cabida a la gobernanza. De esta forma, aunque no específicamente, pero como un recurso natu-

ral, se trata sobre los recursos pesqueros, si se analizan como parte del componente y actividades productivas de diferentes áreas o reservas naturales de conservación; así, se pueden mencionar: la declaratoria como Área Natural Protegida de Flora y Fauna Silvestre de Laguna de Términos (SEMARNAT, 1997), es un ejercicio muy importante y es uno de los eventos que dieron inicio al proceso de cambio en el manejo de los ecosistemas y sus recursos naturales en la región. Otros ejemplos a destacar en esta zona son las declaratorias de Reserva Ecológica de los Petenes (SEMARNAT, 2006); asimismo, la declaratoria de la Reserva de Celestún (SEMARNAT, 2002); la Reserva de Sian Kan (SEMARNAT, 2014).

Este proceso inició el involucramiento más decidido de la comunidad civil, particularmente a través de las ONG, comenzando el proceso de gobernanza; también propiciando el involucramiento con mayor intensidad de las instituciones educativas y de investigación, ya que el manejo integral se fundamenta en bases de conocimiento multidisciplinario cubriendo aspectos de mayor amplitud y objetivos más definidos. En el presente trabajo se tratarán las experiencias de manejo integrado realizado en la región, pero enfocado hacia el manejo pesquero, tratando de balancear los avances que se han hecho, pero también las lagunas y los aspectos medio llenos o medio vacíos que persisten para alcanzar un mayor impacto en un ambiente tan cambiante tanto por los usos del ecosistema y/o su intensidad por el hombre, como las variaciones climáticas que afectan a tales ecosistemas y sus comunidades biológicas.

Lo que se sabe del tema

El cambio climático afecta sin duda a los ecosistemas y sus comunidades. Varios autores señalaron incrementos de temperatura para diversas regiones del planeta; entre ellos Walther *et al.* (2002) indicaron un incremento del orden de 0.3 a 0.7 °C en el agua de superficie del golfo de México (figura 1).

Otra variable importante en la dinámica energética de los ecosistemas es la circulación de las masas de agua de los océanos, Roessig *et al.* (2004), citando a Rahmstorf (2002) reportó el movimiento de las masas de agua a nivel mundial, señalando las salinidades de las masas de agua y los sentidos de las corrientes; cabe hacer notar que para el golfo de México señalaron una salinidad de >36ppm, superior a la salinidad general del Atlántico < 34ppm (figura 2).

De acuerdo con Allison *et al.* (2009) el calentamiento global antropogénico ha influenciado significativamente los procesos

físicos y biológicos a escalas regional y global; sin embargo, los cambios observados y los anticipados representan oportunidades y desafíos para las sociedades y sus economías. Harley *et al.* (2006), mostraron que el incremento de la concentración de CO₂ antropogénico debido a la combustión de petróleo fósil y la deforestación, tienen un efecto sobre el ecosistema. Las actividades humanas provocan grandes concentraciones de gases invernadero en la atmósfera, lo cual a su vez origina una serie de cambios físico-químicos en la zona costera y océanos. Diferentes efectos del cambio climático global como la modificación de los “*upwellings*”, el incremento en la temperatura del agua, la acidificación del agua y el aumento en el nivel del mar pueden tener efectos sobre los organismos y los ecosistemas, afectando finalmente las pesquerías. Harley *et al.* (2006) señalaron los efectos que tiene el cambio climático global sobre

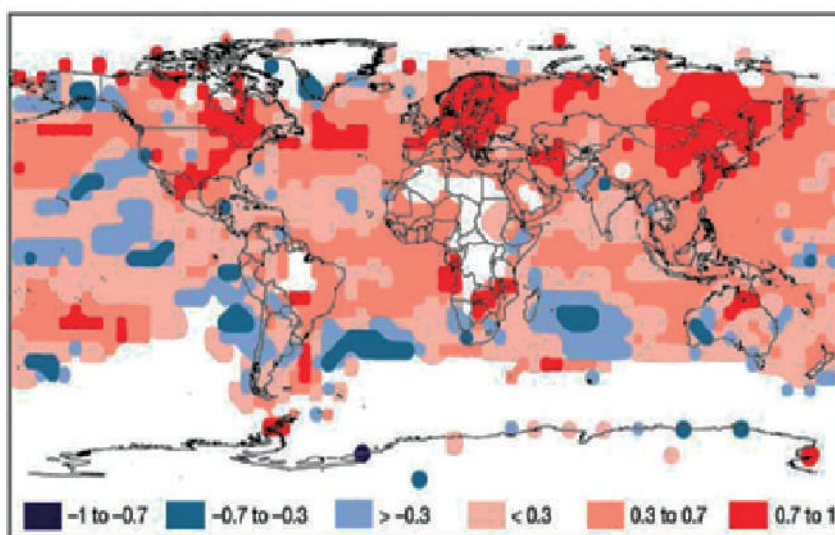


Figura 1. Variabilidad espacial de las tendencias anuales de temperatura (°C por década) desde 1976 en relación con las normales de 1961 a 1990. Modificado de Walther *et al.*, 2002.

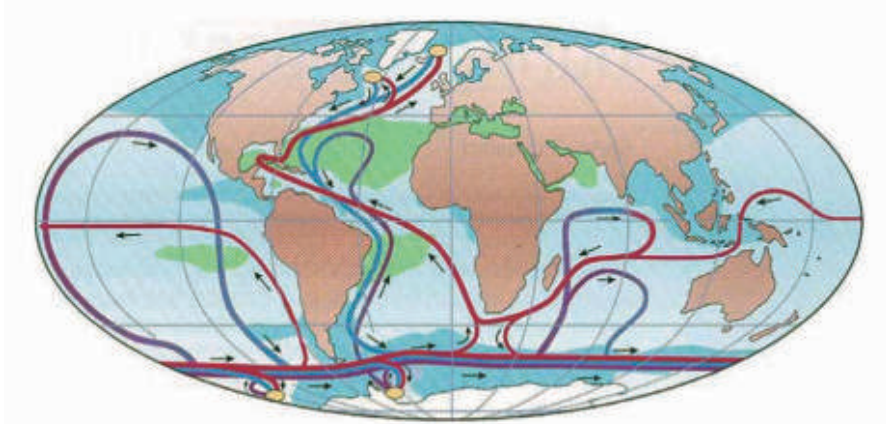


Figura 2. Esquema simplificado de la circulación termohalina global. Las aguas cercanas a la superficie (rojas) fluyen hacia tres regiones principales de formación en aguas profundas (óvalos amarillos), en el Atlántico Norte, el mar de Ross y el mar de Weddell, y la recirculación en profundidad. Las corrientes profundas se muestran en azul, las corrientes de fondo en púrpura. El sombreado verde indica la salinidad por encima de 36 ppt, el azul sombreado indica la salinidad por debajo de 34 ppt (Tomada de Roessig, 2004).

el ciclo de vida de especies marinas, incluidas especies comerciales, dividiéndolo en efecto poblacional y efecto en el organismo. A nivel población, los cambios abióticos en el ambiente tienen impactos directos sobre la dispersión y el reclutamiento y sobre la eficiencia individual (*e.g.* crecimiento y mortalidad) en varias etapas del ciclo de vida. A nivel organismo según Pörtner y Knust (2007), la comprensión de la relación causa-efecto del cambio climático en los ecosistemas requiere una evaluación de los límites térmicos de las especies y de su habilidad para hacer frente a los cambios de temperatura; que este factor además de incidir directamente sobre la tolerancia térmica, tiene un papel importante en la capacidad de aporte de oxígeno a los tejidos, siendo limitante después de un cierto nivel. Por otra parte, Pörtner y Peck (2010) indicaron que los diferentes estadios de peces de zonas templadas pueden tener requerimientos con rangos térmicos diferentes, por ejemplo *Engraulis mordax* requiere un

rango de temperatura amplio para huevos y larvas, pero aún más amplio para juveniles; en cambio este rango es estrecho para adultos y más reducido para reproductores. En contraste, *Solea solea* requiere un reducido rango de temperatura para huevos y primeros estadios larvarios, ampliándose para el último estadio larvario y juveniles; los preadultos y adultos requieren un rango amplio, pero menor que los juveniles. Estos requerimientos de temperatura determinan el movimiento de las especies de acuerdo a las condiciones hidrológicas, las cuales están influenciadas principalmente por el clima.

Efectos adicionales se filtran a nivel de la comunidad vía cambios en el tamaño de las poblaciones y de las interacciones entre especies. Los efectos ecológicos del cambio climático incluyen desviaciones en las eficiencias individuales, la dinámica de las poblaciones y la estructura de las comunidades. Juntos, estos efectos dan lugar a patrones emergentes tales como cambios

en la distribución de las especies, biodiversidad, productividad y procesos microevolutivos. Incluso en algunos casos pudiendo generar patrones de hibridación entre especies (Potts *et al.*, 2014). A nivel de la comunidad natural, pueden darse cambios en la abundancia, distribución de especies, o aún, cambios en las presas de las que se alimentan los recursos pesqueros. En lo que toca a las actividades pesqueras, pueden presentarse cambios en las condiciones meteorológicas las cuales modifican a su vez la distribución e intensidad del esfuerzo de pesca, el volumen de las capturas y en consecuencia, estas variaciones podrían provocar modificaciones en el precio de las especies en el mercado.

Sharp (2003) señala que es claro que el clima seguirá cambiando y las pesquerías seguirán adaptándose a esos cambios, como lo han hecho en el pasado. También señala que las pesquerías más sensibles a las variables climáticas son en orden descendente: a) pesquerías de agua dulce en pequeños lagos y ríos, en regiones con grandes cambios de temperaturas y lluvias; b) pesquerías dentro de la zona económica exclusiva (ZEE), particularmente donde los mecanismos de regulación del acceso reducen artificialmente la movilidad de grupos pesqueros y sus flotas y así las habilidades para ajustar fluctuaciones en la distribución y abundancia del stock; c) pesquerías en grandes ríos y lagos; d) pesquerías en estuarios, particularmente donde hay especies sin migración o patrones de dispersión del desove en estuarios impactados por aumento en el nivel del mar o decrecido flujo del río y e) pesquerías marinas de altura. Si bien esto muestra un gradiente de afectaciones, no significa que las pesquerías marinas estén exentas de fuertes impactos.

En lo que respecta al sur del golfo de México, particularmente a las pesquerías de especies marinas y estuarinas, cabe hacer mención que una gran parte de ellas pueden verse afectadas, no sólo por el cambio climático, sino también por otros factores que concurren en el ecosistema con las especies comerciales y no comerciales, así como también, por la pesca.

Se puede mencionar la contaminación por diferentes productos agrícolas como plaguicidas, herbicidas; a los generados por el desarrollo urbano en la zona costera con diferentes desechos domésticos e industriales como detergentes, plásticos, aceites, etc., a desechos provenientes de la explotación petrolera, derrames petroleros, intenso tráfico marítimo y desecho de productos por el lavado de buques tanque, entre otros. Este complejo conjunto de factores por si solos, pueden tener un efecto considerable; además, pueden tener sinergia con otro u otros productos magnificándose el efecto sobre las comunidades y hábitats de las especies comerciales o no, cuyas atribuciones y consecuencias son difíciles de cuantificar. Idealmente, los impactos al ecosistema deberían ser analizados y mitigados simultáneamente con el manejo del esfuerzo y la estrategia de pesca. En el manejo con enfoque ecosistémico de pesquerías se contempla un aspecto de adaptación de las pesquerías a diversos cambios en la abundancia de las especies y/o en las condiciones del sistema pesquero (Carrillo Alejandro *et al.*, 2012; Flores Hernández *et al.*, 2012).

El estudio del cambio climático global es un trabajo de largo plazo, para lo cual se requiere información de largas series de tiempo que generalmente no existen en nuestro país; desafortunadamente, estos

estudios requieren de un gran esfuerzo y de costos muy altos; en contraste, muchas acciones ya deben ser aplicadas, basándose en información de otros lugares de comportamiento semejante. Para el sur del golfo de México, a nivel de comunidades del necton (peces y crustáceos) asociado a variables ambientales, se observa una serie intermitente de estudios en la laguna de Términos cubriendo un periodo de más de 40 años; iniciando con los trabajos de Signoret (1974), Yáñez-Arancibia *et al.* (1983), Aguilar Sierra (1985), Ramos Miranda *et al.* (2006), Mouillot y Ramos Miranda (2012), la particularidad de estos trabajos, es que fueron realizados basados en un plan de muestreo semejante en los mismos sitios y que además, incluyen mediciones de variables ambientales (temperatura y salinidad, entre otras) lo cual los hace comparables.

En este aspecto, es de notar que entre los trabajos de Yáñez-Arancibia *et al.* (1983) y Ramos Miranda *et al.* (2005) se reporta un incremento promedio de hasta 2 °C; así como un incremento de la salinidad en la laguna de Términos en un periodo de 30 años. Aunque las variaciones en salinidad están muy asociadas al manejo de las esclusas de los ríos (Aparicio *et al.*, 2009).

Espina y Vanegas (2005), señalan que la aclimatación a las temperaturas altas o bajas modifica los límites letales inferior y superior de juveniles del camarón (*Metapenaeus bennettiae*). Reportan también que los límites letales de la especie a la salinidad pueden aumentar o disminuir cuando los animales se aclimatan a salinidades altas o bajas respectivamente. Por otra parte, la aclimatación a la temperatura influye tanto sobre las temperaturas, como sobre las salinidades letales. En contraste, la aclimatación a la salinidad no afecta los límites

letales de temperatura (Aziz y Greenwood, 1981).

Bœuf y Payan (2001) indicaron que el desarrollo y crecimiento además de estar regulados por factores endócrinos, en los vertebrados puede depender de variables ambientales; entre los cuales la salinidad es de fuerte influencia para la mayor parte de especies de peces, influye en la fertilización e incubación de los ovocitos, reabsorción del saco vitelogénico, embriogénesis temprana, inflamamiento de la vejiga natatoria y crecimiento larvario. En general se reconoce que los peces utilizan entre 20 a más de 50 % de la energía para la osmoregulación. Es importante señalar que, si bien la variación en el parámetro temperatura o salinidad puede no ser tan amplio, también influye la duración a la exposición.

Como señalaron Ortiz Pérez *et al.* (2010) el cambio climático tendrá numerosos impactos en el golfo de México, incluyendo: incremento en la temperatura, acelerado aumento en el nivel del mar, variación en los niveles de lluvia y la descarga de los ríos, así como cambios en la frecuencia e intensidad de tormentas tropicales. De igual forma, como la temperatura del aire incrementa más rápidamente en tierra que en el océano, la temperatura del agua de la zona costera se incrementa también más rápido (Harley *et al.*, 2006). Anthony *et al.* (2009) citan un ejemplo dado por Nixon *et al.* (2003) en la bahía de Narragansett, Rhode Island (profundidad media de 6.4m), donde la temperatura anual promedio se ha incrementado en 1.1 °C en los últimos 50 años. Además, señalan que según Conley *et al.* (2007), la tasa de incremento es del orden de cuatro veces superior a la del océano. De la misma forma, la condición de agua somera y bajo flujo de agua de las lagunas costeras indican que las tempera-

turas de estas se incrementarían aún más rápido que en los estuarios abiertos. Estos autores asocian cambios en la comunidad béntónica relacionada a hipoxia crónica de largo plazo que permite el desarrollo de especies más tolerantes a este factor. En este sentido, es de esperarse un fuerte impacto también en comunidades nectónicas que utilizan las zonas costeras y aún más las lagunas costeras como refugio, para la alimentación, reproducción y crianza.

Yáñez-Arancibia y Day (1982), reportan que el 70 % de las especies comerciales del sur del golfo de México se reproducen o pasan alguna de sus etapas de desarrollo en la laguna de Términos. Este fenómeno de utilización de las zonas y lagunas costeras por las especies, combinado con la sinergia entre incremento de la temperatura y salinidad más la presencia de contaminantes puede dar lugar a la magnificación del impacto del cambio climático sobre las pesquerías del sur del golfo de México.

Otro factor debido al cambio climático global es el incremento en el nivel del mar por el descongelamiento del hielo polar; así, para el periodo 1993-2002, mediciones de altimetría satelital establecieron aumentos de 3.1 ± 0.7 mm/año en el nivel del mar (Bindoff *et al.*, 2007, citado por Azuz, 2010); esto puede tener como consecuencia ulterior un fuerte cambio en la dinámica de la zona costera, afectando tanto los ecosistemas y hábitats de especies comerciales, como la infraestructura humana. Debido a la circulación del agua, el volumen cambia y se predijo que los ecosistemas costeros y estuarinos experimentarían pérdida de hábitats de pantanos y de la zona intermareal y que podría haber una mayor penetración marina en los ríos y un incremento en la eutroficación, hipoxia y anoxia (Officer *et al.*, 1984).

Para el golfo de México, en un estudio de 1970 a 2010, Azuz (2010) señaló que Campeche y Tabasco no presentaron ningún mes con aumento estadísticamente significativo de la temperatura y los estados que presentaron un mayor número de meses con incrementos significativos de temperatura fueron: Quintana Roo, Tamaulipas y Yucatán, con 3 meses cada uno. Sin embargo, señala que en el periodo de 2000-2009, el 56 % de los meses se mantuvieron en las temperaturas máximas; en contraste, las décadas anteriores mostraron valores inferiores y crecientes desde 1971-1979 con un 8.3 % de meses en temperaturas altas. Esto indica que, si bien las temperaturas no fueron superiores, se mantienen durante un mayor tiempo en los valores más altos; cabe señalar que para algunas especies este fenómeno implica fuertes cambios energéticos. Algunos impactos del cambio climático sobre las comunidades son un incremento en hierbas malas y oportunistas según Visser y Both (2005), citados por Williams *et al.* (2008). Por otra parte, uno de los aspectos relevantes de la ecología en relación a los efectos de la pesca, es su posible impacto sobre los niveles tróficos de las capturas. En este contexto, Zetina (2004) reporta niveles tróficos promedios semejantes para las capturas de la laguna de Términos y la sonda de Campeche, aunque ésta última ligeramente mayor (2.5 y 2.6, respectivamente). Señala también que el detritus juega un importante papel como fuente de energía primaria para todo el ecosistema, ya que este es aproximadamente 2.8 veces más utilizado que la producción primaria. Sin embargo, indicaron que los productores primarios tienen una influencia moduladora del funcionamiento de todo el ecosistema, cualidad de la que carece el detritus. Asimismo, observó que

incrementos simulados en el esfuerzo de las flotas camaronera, pelágica y de escama generan importantes cambios en un gran número de grupos de especies. Presentó también un análisis de los posibles efectos sobre la resiliencia simulando diferentes escenarios para la laguna de Términos y la sonda de Campeche. Mencionó que varios grupos ecológicos presentaron valores muy pequeños de resiliencia y que muy probablemente se deba a presiones sufridas por la pesca; a esto podrían adicionarse presiones ecológicas en la zona costera y la laguna de Términos. Por mencionar algunas, la contaminación producida por el crecimiento de las ciudades, la agricultura en zonas aledañas y la industria petrolera, así como variaciones debidas al cambio climático como fluctuaciones en la temperatura, la salinidad y otras variables del agua.

En cuanto a los efectos de las pesquerías en el ecosistema, en general para los cuatro atributos de resiliencia utilizados por este autor, se espera que una perturbación en un ecosistema ocasione impactos más severos cuando la persistencia y la resiliencia sean menores y cuando la magnitud de cambio y tiempo de recuperación sean mayores. Estos atributos son útiles para evaluar la estabilidad del ecosistema, entendiendo en este caso por estabilidad, que las biomásas de los grupos permanezcan relativamente constantes (Tilman *et al.*, 1998).

Abascal-Monroy *et al.* (2016) analizando la cadena trófica, encontraron diferencias en indicadores funcionales en la laguna de Términos en tres periodos (1980, 1998 y 2010); sin embargo, no encontraron diferencias en los indicadores de estructura. También reportan disminución en las biomásas de los compartimientos tróficos. Sin embargo, las principales estructuras de la cadena trófica permanecieron relativa-

mente estables, como señal de la resiliencia del ecosistema para minimizar impactos externos. Citan también que Sirot *et al.* (2015) reportaron cambios en las especies de peces, algunos decrecieron otros aumentaron y algunas especies se mantuvieron relativamente estables ante estos cambios en el ecosistema. Sin embargo, como se ha mostrado el ecosistema sigue en proceso de alteración tanto por las actividades antrópicas directamente como por las variaciones en el ecosistema debido al cambio climático. Para la pesca comercial, esto abre grandes incógnitas y retos sobre el futuro económico y social de las pesquerías, ya que la productividad sigue decreciendo.

Respecto a la contaminación, Díaz-González *et al.* (2005), reportaron niveles de plaguicidas organoclorados determinados en la biota (vegetación sumergida, pastos y peces) de los dos principales sistemas estuarinos de la laguna de Términos, Campeche (Candelaria-Panlau y Palizada del Este). Es notorio que algunos compuestos como el endrín, el epóxido de heptacloro y el DDT, muestran relaciones que confirman su ingreso reciente con respecto a 2005 al área de estudio. De singular importancia, es la presencia de estos compuestos y principalmente DDT y endosulfán, en tejidos de peces empleados para el consumo humano (*Cathorops melanopus* y *Chiclasoma* sp). Alegría *et al.* (2005), reportan concentraciones de DDT en el aire en el estado de Tabasco, señalando que estos pudieran llegar a depositarse en la zona costera.

Morales Rodríguez y Cobos-Gasca (2005) reportan DDT y sus derivados en huevos de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en las costas del estado de Campeche. Sin embargo, señalaron que no hubo ningún efecto sobre la proporción del número de nidos eclosionados.

Rendón von Osten *et al.* (2005), identificaron y cuantificaron diversos tipos de plaguicidas organoclorados (aldrín, epóxido de heptacloro, DDD, DDE, DDT y metoxicloro) en sedimentos de la costa sur de Campeche. Se encontró una correlación positiva entre el carbono orgánico y la concentración DDT en sedimentos de la zona de estudio. De acuerdo a las concentraciones determinadas en la laguna de Términos durante el año 2000 y comparadas con los resultados de este estudio, concluyeron que las concentraciones de compuestos organoclorados se han incrementado hasta en 100 veces más.

El estero de Sabancuy comunicado a la laguna de Términos, se registraron valores de plaguicidas de las familias de DDT y endosulfán con concentraciones superiores a las de la laguna de Términos (Ramírez-Elías *et al.*, 2016). Estos autores señalaron que las concentraciones debieron acumularse durante años, pero no existen indicios de haber sido utilizados después de 1995.

Por otra parte, Zapata-Pérez *et al.* (2005), encontraron vitelogenina en machos de camarón rosado y camarón blanco en la sonda de Campeche. Esta proteína se presenta normalmente en las hembras, su presencia en los machos es una reacción a la exposición a hidrocarburos. De esta forma, es posible que se pudiera afectar el proceso reproductivo, pudiendo ocasionar una disminución de la cuenta espermática en machos o tener efectos sobre su movilidad, disminuyendo el éxito en la reproducción.

Ponce Vélez y Botello (2005), señalaron que, de forma global para el golfo de México se registró la presencia de hidrocarburos en diferentes costas. En el estado de Campeche se registraron las mayores concentraciones de hidrocarburos dispersos en aguas costeras y marinas con un promedio de 48

$\mu\text{g L}^{-1}$. Otros sitios del sureste del golfo de México como la sonda de Campeche y Tabasco registraron respectivamente valores de $8.8 \mu\text{g L}^{-1}$ y $4.3 \mu\text{g L}^{-1}$. En el estado Veracruz se registraron valores de $13.8 \mu\text{g L}^{-1}$; después, en el golfo de México en su parte oceánica $11 \mu\text{g L}^{-1}$; también se encontró en el Caribe mexicano con $15 \mu\text{g L}^{-1}$ y Quintana Roo con $4.4 \mu\text{g L}^{-1}$. Todos estos son valores muy contrastantes, en comparación con los señalados como criterio de calidad ambiental por la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (USEPA) ($0.03 \mu\text{g L}^{-1}$), y el nivel máximo permisible por la Comunidad Europea ($0.2 \mu\text{g L}^{-1}$). No obstante, la legislación mexicana señala los valores establecidos para aguas costeras no contaminadas en el golfo de México y mar Caribe de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ y para sedimentos de $70 \mu\text{g g}^{-1}$. De forma general puede decirse que el daño biológico provocado por el petróleo o sus derivados es más severo si ocurre en un área costera como las lagunas y los estuarios o la zona intermareal, debido a que estas zonas son utilizadas por las etapas más vulnerables de las especies, como huevos, larvas y juveniles por ser sitios importantes de reproducción, crianza y alimentación de diversas especies oceánicas o marinas (Yáñez-Arancibia y Day, 1982).

De acuerdo con Espina y Vanegas (2005) los organismos poseen mecanismos de defensa ante la presencia de xenobióticos de gran toxicidad; de esta forma, pueden haber dos tipos de efectos: a) Efecto letal, cuando el xenobiótico interfiere con los procesos celulares provocando la muerte; por ejemplo, derrames de gran magnitud o cuando suceden en áreas restringidas y que bloquean el funcionamiento de las branquias, provocando muerte masiva por asfixia; b) Efectos subletales, cuando el xenobiótico interfiere con el organismo y

provoca alteraciones de las actividades fisiológicas o conductuales sin provocar la muerte inmediata. Entre estos últimos, hay una variedad de efectos como: generación de cáncer debido a la incorporación del petróleo o sus derivados, obstrucción mecánico-visual para la búsqueda del alimento o el escape de los depredadores, cambios de hábitos alimenticios, migratorios, reproductivos, alteraciones en el crecimiento, entre otros.

Valenzuela-Sánchez *et al.* (2005), realizaron un estudio en la laguna de Chelem y Puerto Progreso, Yucatán. Los resultados obtenidos frecuentemente rebasan los valores de la legislación mexicana para agua y sedimentos, por lo que hay preocupación por el posible efecto que estos compuestos puedan tener sobre la salud de los organismos y los ecosistemas.

Villanueva y Botello (2005), muestran los resultados de investigaciones que se han llevado a cabo a lo largo de siete años en la laguna El Yucateco, Tabasco, con relación a los niveles de metales en sedimentos (cadmio, cromo, plomo, níquel y vanadio) en su forma total y biodisponible, así como en los tejidos musculares de peces y crustáceos. Los resultados en sedimentos y en tejidos musculares de siete especies de peces y crustáceos, mostraron elevadas concentraciones de Cd, Cr, Pb y Ni, a niveles que pueden producir efectos toxicológicos negativos en los organismos, por lo tanto, causan un efecto deletéreo en las pesquerías de la región. Los autores señalaron que en la laguna El Yucateco la disponibilidad de los metales depende básicamente de la naturaleza de los sedimentos y las condiciones físico-químicas de las aguas locales y por supuesto del control que se tenga de las descargas industriales y domésticas en dicho sistema. Soto-Galera *et al.* (2010),

reportaron que para 2001, más de la mitad de la superficie de protección del área natural de conservación de la laguna de Términos, mostraba cambios con respecto a su cobertura original (1974); además, que una tercera parte estaba deteriorada y asociaron esta alteración al incremento de pastizales y el crecimiento urbano. Para la laguna de Términos reconocida como un gran criadero de especies comerciales y no comerciales, Mouillot y Ramos Miranda (2012) reconocen una notable disminución de las abundancias (peces y camarón blanco), lo que muestra que el ecosistema ha cambiado su estructura y función, señalan además que hay una homogeneización del ambiente en lo que concierne a variables ambientales como temperatura y salinidad; esto puede generar cambios en la diversidad de las comunidades, al limitar la distribución y abundancia de algunas especies y beneficiar a otras. Teichert *et al.* (2017) encontraron también disminución de la diversidad asociada a homogeneización del hábitat en la costa atlántica francesa; asocian que las afectaciones urbanas influyeron más sobre la β -diversidad, mientras que la α -diversidad permaneció sin cambios.

Arreguín-Sánchez (2010), analizó los cambios en el patrón de reclutamiento del camarón rosado en la sonda de Campeche asociada a diversos factores climáticos como a las anomalías de la producción primaria del ecosistema, la temperatura, salinidad, nivel medio del mar y el índice de variación de la Oscilación del Atlántico Norte (NOA), en general señaló que existe un patrón de variación de reclutamiento y el NOA, pero que es importante tener en cuenta otros factores que afectan la zona costera. En concordancia con lo anterior Polovina y Woodworth (2012) encontraron una relación negativa entre la mediana del diámetro

del fitoplancton con respecto a la temperatura superficial del agua y la concentración de clorofila durante el periodo 1998-2007; indicaron que el diámetro del fitoplancton disminuyó en un porcentaje entre dos y cuatro, en la zona subtropical de los océanos Pacífico y Atlántico, respectivamente. Aunque describen una tendencia lineal, señalan que el diámetro puede tener variaciones en escalas interanuales y decadales, con impactos en la longitud de la cadena trófica y de aquí en la transferencia de energía a niveles tróficos más altos. Globalmente lo hipotetizan como el efecto del calentamiento del océano. Por otra parte, Daufresne *et al.* (2009), en un meta-análisis de bacterias, fitoplancton, zooplancton y peces, concluyeron que el calentamiento global tiene como resultado un aumento en la proporción de especies de menor tamaño, mayor número de clases jóvenes y disminución de la talla a una edad dada. Además, Roessig *et al.* (2004) mostraron una clara disminu-

ción en la capacidad fotosintética del coral con el incremento de la temperatura y la salinidad (figura 3).

Así, Arreguín-Sánchez (2010) sugiere que la producción de la sonda de Campeche descansa fundamentalmente en la producción primaria fitoplanctónica, la cual también muestra bajas en la producción. Comenta que en lo que se refiere al manejo de pesquerías de camarón rosado, las autoridades tratan de mantener el tamaño del stock reproductivo controlando el esfuerzo de pesca, esperando que el recurso se recupere cuando las condiciones del ambiente permitan un reclutamiento suficiente y así se renueve la biomasa del stock. En estas condiciones, es muy importante intensificar las medidas de mitigación y recuperación de la calidad de los ecosistemas conjuntamente con la mitigación de los impactos del cambio climático.

En este contexto, pudiera estarse presentando entre especies un desfaseamiento

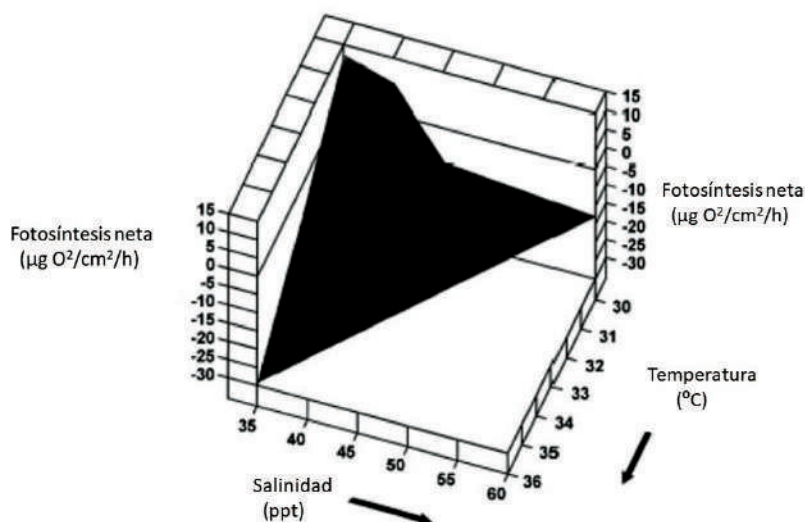


Figura 3. Estrés fisiológico del coral a dos factores estresantes, salinidad y temperatura. En combinación, estos factores disminuyen profundamente la capacidad fotosintética de esta especie (Tomada de Roessig *et al.*, 2004).

de tiempo entre la reproducción de camarón u otras especies y los afloramientos de fitoplancton, que afectarían a las especies consumidoras (zooplancton, entre otros); este proceso pudiera verse magnificado por el efecto deletéreo de contaminantes sobre el fito y zooplancton en la zona costera y lagunas; lo cual probablemente reducirían los espacios de encuentro entre estos grupos, finalmente interferiría en la alimentación desarrollo de consumidores primarios y sus efectos sobre la cadena trófica.

Tanto los diversos factores de origen antrópico incluida la pesca, que producen una amplia variedad de alteraciones al am-

biente y el cambio climático están haciendo cada vez más complicada la gestión de las autoridades a nivel regional como a nivel mundial. Una de las herramientas más eficaces para esta tarea es la gobernanza. Una gobernanza que permita avanzar para cubrir las lagunas legales, que incida fuertemente en la construcción de las capacidades institucionales y civiles para realizar un manejo sustentable de los ecosistemas con prioridad en la conservación del ambiente y sus recursos renovables, así como el uso de esos recursos que permita un desarrollo social y económico a largo plazo.

Lo que no se sabe del tema

En este sentido pocos estudios se han hecho en base a un análisis de largo plazo. Se encuentran los trabajos de Ramos Miranda *et al.* (2005) que indican un incremento promedio de hasta 2 °C en la laguna de Términos en un espacio de 20 a 30 años; asimismo, Flores Hernández *et al.* (2000) reportan incrementos notorios en la salinidad de fondo de la laguna a partir de 1980 comparando informaciones publicadas (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1983) con muestreos de 1998. Aunque estas variaciones pueden estar asociadas al manejo de las esclusas de los ríos (Aparicio *et al.*, 2009). Asociado a este se registró también la variación de abundancia de especies muy importantes como: la disminución del camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*), el cual ha reaparecido recientemente en volúmenes no determinados, y sigue siendo explotado en el interior de la laguna de Términos; oscilaciones en la abundancia del camarón siete barbas (*Xiphopenaeus kro-*

yeri), el cual también es explotado dentro de la laguna de Términos. Ambas especies son capturadas también en la zona costera; actualmente la pesca de camarón blanco está prohibida totalmente. En general se ha observado una disminución de la abundancia de las especies neotónicas. En este caso es también importante el integrar el funcionamiento de las esclusas, ya que tienen un efecto fuerte sobre el flujo de agua dulce, la circulación de la laguna y el comportamiento de las comunidades, muchas de las cuales involucran especies de interés comercial. Como respuesta a estas variaciones, numerosos pescadores modificaron sus estrategias y sus artes de pesca. A pesar de que existe la prohibición de captura en la laguna de Términos por ser un Área Natural Protegida (ANP), los pescadores siguen capturando ahí; además, para capturar particularmente al camarón blanco, utilizan dos tipos de redes: la “Voladora”, la cual es una red de arrastre y otra red llamada de

“Enmalle”, la cual como su nombre lo dice opera enredando los organismos. La captura de esta especie está prohibida y también estos artes de pesca. La red autorizada para la captura de camarón siete barbas y que captura pequeñas cantidades de camarón blanco como fauna de acompañamiento; es utilizada, para el siete barbas, pero sobre todo como recurso legal para salir a la pesca, ya que muchos pescadores llevan también la “Voladora” o la de “Enmalle”.

Como señalaron Ortiz Pérez *et al.* (2010) el cambio climático tendrá numerosos impactos en el golfo de México, incluyendo incremento en la temperatura, acelerado aumento en el nivel del mar, niveles de lluvia y descarga de ríos, así como cambios en la frecuencia e intensidad de tormentas tropicales. Ospina *et al.* (2010), previeron para el 2080, un incremento de la temperatura del aire de 2.7 °C; además, para el distrito XII correspondiente a la península de Yucatán, proyectaron disminuciones de la precipitación entre 21.1 y 14.7 %, esto coincide con lo reportado por Arcos Espinoza *et al.* (2010); otros estudios coinciden para las zonas del sur de México y América central (Imbach *et al.*, 2012; Chiabai, 2015). Fichez *et al.* (2016), en un análisis sobre la laguna de Términos basándose en la excepcionalmente baja descarga de ríos y la elevada evaporación durante la estación de lluvias en 2009 señaló que fue la causante de que se registrara un incremento en la salinidad en laguna de Términos. Indican en un estudio del flujo del Usumacinta, que este tiende hacia el incremento; esto supone que la salinidad decrece en esta laguna. Asimismo, señalan que la precipitación ha permanecido estable en la región, por lo que el incremento en la descarga del río se debe más bien por el uso de la tierra, más que al cambio climático.

En este aspecto, numerosos pescadores han señalado el incremento en la frecuencia e intensidad de los llamados “Nortes”, los cuales dificultan las operaciones de pesca haciéndolas peligrosas, por lo cual reducen así el número de días laborables de los pescadores, particularmente la de los siete-barberos, cuya época de pesca legal se sitúa precisamente durante la época de “Nortes” de octubre a febrero; mientras que la apertura a la pesca es del 1º de octubre al 31 de abril (DOF, 2014i).

En el Pacífico, Solana-Sansores (2010) señala que el calentamiento gradual de las primeras capas de la superficie marina permitiría un mayor desplazamiento de los organismos que habitan en ellas hacia mayores profundidades. Esto último, por ejemplo, se ha observado en las pesquerías de atún en el Pacífico oriental cuando ocurren anomalías térmicas, como el fenómeno global denominado Oscilaciones del Sur - El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés).

Así como en el caso de los efectos deletéreos de actividades antrópicas sobre el ambiente, el cambio climático, es necesario hacer un manejo integral, adaptativo con la mejor información científica, social y económica para hacer frente común a este conjunto de problemas. En el caso de las pesquerías, aunada a la variabilidad de la abundancia y disponibilidad de las especies, surge un nuevo factor que es el incremento en el precio de los combustibles, tornando las salidas de pesca cada vez más inciertas desde el punto de vista económico. Esta situación puede hacer que las especies se recuperen si, la calidad del ambiente coadyuva con esa condición de disminución potencial del esfuerzo de pesca. Esto permitiría que los agrupamientos de pescadores, cooperativas, permisionarios tomen un papel preponderante dado que

tienen un mayor poder económico que la mayoría de pescadores libres que trabajan individualmente.

Por otra parte, se han simulado las temperaturas del golfo de México para el 2099 durante el período de ciclones (junio-noviembre) y se han predicho valores de la superficie del agua entre 29.5 y 31.1 °C (Garcías y Cuxart, 2006). Tomando en cuenta lo señalado por Arreguín Sánchez *et al.*

(2008), este escenario no le es favorable a la productividad primaria y por lo tanto al reclutamiento del camarón rosado en el golfo de México. Cabe hacer notar que tampoco a otras especies de crustáceos, peces y moluscos; aunque algunas especies podrían ser beneficiadas, las cuales son aún difíciles de predecir. Así, un nuevo cambio en los precios de las especies y en la rentabilidad de las pesquerías podría producirse.

Problemas que se suscitan en este tema, considerando los sectores afectados

La problemática para la pesca es compleja. El ecosistema globalmente está siendo utilizado por diferentes actividades antropogénicas (Desarrollo urbano, agricultura, explotación petrolera, transporte marítimo, pesca, entre otras). Cada actividad tiene impactos sobre diferentes procesos del ecosistema, los cuales concurren con el cambio climático global. En este contexto, los problemas y el manejo de los recursos naturales incluyendo los pesqueros, tienen que verse de manera integral para lo cual, los diferentes sectores y órdenes de autoridad federal, estatal y municipal deben reforzar la comunicación, combinación de esfuerzos y coordinación de acciones; en este contexto el principio de gobernanza debe ser prioritario. Los problemas en la pesca como está planteado en el manejo ecosistémico, por necesidad misma de la problemática, va más allá de la pesca misma.

En esta sección será tomado como problema el escenario en el que se desarrolla el manejo de estos recursos. En términos generales el problema que persiste es la falta de confianza de los armadores y pescadores de los resultados obtenidos por las medidas de

manejo. Uno de los casos más críticos es la explotación de camarón, en el cual muchos armadores externan su descontento con los resultados en el manejo. El fundamento para las quejas es que el sector de altura ha colaborado y después de muchos años no se han obtenido los resultados esperados. Este posicionamiento se debe en gran medida al desconocimiento de los efectos de los otros usos del ecosistema y el propio efecto de la pesca. El sentimiento que les provoca a algunos esta situación es que el recurso se está acabando y que entonces los armadores-pescadores en lo individual se continúen beneficiando; otros, contrariamente, mantienen la esperanza de que, tomando las acciones correctas, los recursos puedan ser explotados a largo plazo, tal cual es esperado por la filosofía del manejo, el cual busca encontrar el problema para implementar la mejor acción o medida para conservar el recurso, con la esperanza de que se recupere y vuelva a producir su mejor cosecha bajo condiciones de manejo adecuadas (Arreguín-Sánchez, 2010).

De esta forma, avanzar sobre la resolución de los problemas es más lento y difícil. En

el caso de muchas pesquerías, aunque legalmente se había realizado el ordenamiento y plan de manejo como herramienta para llevarla a cabo según el enfoque ecosistémico de pesquerías (Carrillo Alejandro *et al.*, 2012); el nombramiento y puesta en acción del comité de manejo de la pesquería tardó varios años en el caso de algunas pesquerías y en otros casos aún no se instala dicho comité, por lo que el manejo del recurso se sigue haciendo de manera tradicional (tabla 1.); sin embargo, esto no implica en sí que no se cumpla con la aplicación de la gobernanza, algunos avances se han logrado en ese sentido, ya que desde hace varios años la participación de los sectores interesados han contribuido en las reuniones de información, análisis y toma de decisiones. Para esto, México se comprometió en la firma del convenio de Copenhague (FAO, 2001) para tener un manejo ecosistémico de todas las pesquerías para el 2012. De esta forma,

la instalación y puesta en marcha de los comités significaría un avance importante en lo que respecta al co-manejo, manejo adaptativo y gobernanza de las pesquerías del sur del golfo de México.

Solana Sansores (2010), entre los diversos factores que serán impactados por el cambio climático, señaló que la seguridad alimentaria puede verse afectada. Aunque, la variación de la producción pudiera disminuir tanto en diversidad como en abundancia, este aspecto amerita una particular atención; el autor indica que una buena acción sería la implementación de políticas públicas adecuadas. También señala que la secuencialidad temporal y espacial en el desarrollo de actividades de la flota ribereña, podría verse afectada por el cambio climático en la península de Yucatán la cual está dada por la captura de especies objetivo: pulpo, escama marina y tiburón entre otros, cabe señalar también que un número

Tabla 1. Planes de manejo pesquero publicados y comités de manejo instalados.

Especie/Región	Plan de manejo publicado	Comité de manejo instalado
Pulpo del Golfo de México y Mar Caribe.	DOF, 2014a	
Camarón rosado de la sonda de Campeche.	DOF, 2014b	*
Camarón café y blanco en las costas de Tamaulipas y Veracruz.	DOF, 2014c	*
Langosta espinosa.	DOF, 2014d	
Mero y especies asociadas en la península de Yucatán.	DOF, 2014e	*
Caracol del litoral de Campeche (ocho especies) del litoral de Campeche.	DOF, 2014f	
Camarón rojo y de roca de los Caladeros de Contoy	DOF, 2014g	
Robalo del golfo de México y mar Caribe.	DOF, 2014h	
Camarón siete barbas en las costas de los estados de Campeche y Tabasco.	DOF, 2014i	
Lisa y lebrancha en las costas de Tamaulipas y Veracruz.	DOF, 2014j	
Atún aleta amarilla en el golfo de México.	DOF, 2015a	
Pepino de mar en la península de Yucatán.	DOF, 2015b	

importante de pescadores en Campeche y Tabasco capturan como especies objetivo camarón siete barbas con una importante cantidad de especies de peces.

El conocimiento de los ciclos biológicos en los ecosistemas marinos, permiten generar riqueza, asentamientos humanos esta-

bles, desarrollo, empleos e impuestos, que favorecen a las poblaciones humanas costeras. De este modo, variaciones muy fuertes en el ambiente provocados por el cambio climático podría fuertemente afectar en todos estos aspectos de la actividad pesquera.

Los indicadores y alcances para poder monitorear el problema

En el caso global de las pesquerías, el indicador es sin duda la evaluación de resultados de las acciones de manejo que se han llevado a cabo por el comité correspondiente y cuyos indicadores están plasmados en el plan de manejo específico. Solana Sansores (2010) presenta algunos elementos de la pesca que pudieran ser afectados por el cambio climático, los cuales pudieran servir como indicadores: producción pesquera, precios de los productos pesqueros, empleos, infraestructura, y captación de divisas y balanza comercial.

Por otra parte, en el marco de las actividades de la RNIIPA (Red Nacional de Investigación e Información sobre Pesca y Acuicultura) se llevó a cabo un ejercicio multiinstitucional para la elaboración de un manual de indicadores y metodología para la aplicación del enfoque ecosistémico en las pesquerías de Yucatán, Campeche y Quintana Roo (Ramos Miranda *et al.*, 2013). En este trabajo, se definió el marco conceptual y diseño metodológico (Marco lógico-Árbol de problemas), a partir del cual se identificaron los problemas en torno al manejo de las pesquerías con enfoque ecosistémico; para ello se dividió el sistema en cuatro componentes (socioeconómicos,

población, ecológicos y de gobernanza). Se desarrolló el trabajo formando matrices que asocian problemas-objetivos-metas, a los cuales se les vincularon los indicadores de actividad; asimismo, se identificaron los indicadores de manejo (parámetros); además, se escogió como marco ordenador el sistema Presión-Estado-Respuesta (PER), propuesto por Quiroga-Martínez (2009) y la UNESCO (2009). Para este manual se tomó como definición de indicador de manejo la propuesta de la UNESCO (2009) que señala que los indicadores son afirmaciones cuantitativas y cualitativas o parámetros medidos u observados que pueden emplearse para describir situaciones existentes y medir cambios o tendencias a lo largo del tiempo. Sus tres funciones principales son: la simplificación, la cuantificación y la comunicación.

En un primer paso, se muestran los problemas encontrados al parecer de los expertos que participaron en el ejercicio. Como resultado se registraron 62 problemas en general, distribuidos en cuatro componentes: 15 socioeconómico, 13 población, 10 ecosistema y 24 gobernanza. Es de notarse que el tema de cambio climático se encuentra inmerso implícitamente

en los componentes ecológico y población, ya que influye fuertemente en la supervivencia, desarrollo, reproducción y permanencia de los recursos pesqueros, y de los

hábitats donde habitan; por otra parte, es de notarse el interés o conciencia tomado sobre la resolución de problemas mediante la gobernanza.

Las lecciones aprendidas (y/o reportadas en la literatura)

En el aspecto pesquero, México firmó el convenio de Copenhague (FAO, 2001) en el cual se comprometía a implementar el enfoque ecosistémico que consiste básicamente en considerar el ecosistema, el principio fundamental era la conservación de las especies, y en dado caso su posible explotación, tomando en cuenta la participación de la comunidad civil o usuarios en la toma de decisiones o co-manejo; además, tener en cuenta aspectos económicos y sociales o manejo integral; de tal forma que se alcan-

zara la sustentabilidad de las pesquerías. La figura 4 esquematiza el proceso del enfoque ecosistémico integrado a las pesquerías de México por INAPESCA. Destacando el espíritu participativo (co-manejo), manejo adaptativo en caso de circunstancias imprevistas. Por diversas cuestiones, hasta la fecha existen 12 planes de manejo de los cuales sólo se han instalado tres comités de pesca (tabla 1). Esto supone un avance importante para la gestión pesquera en el golfo de México, pero falta impulsar con

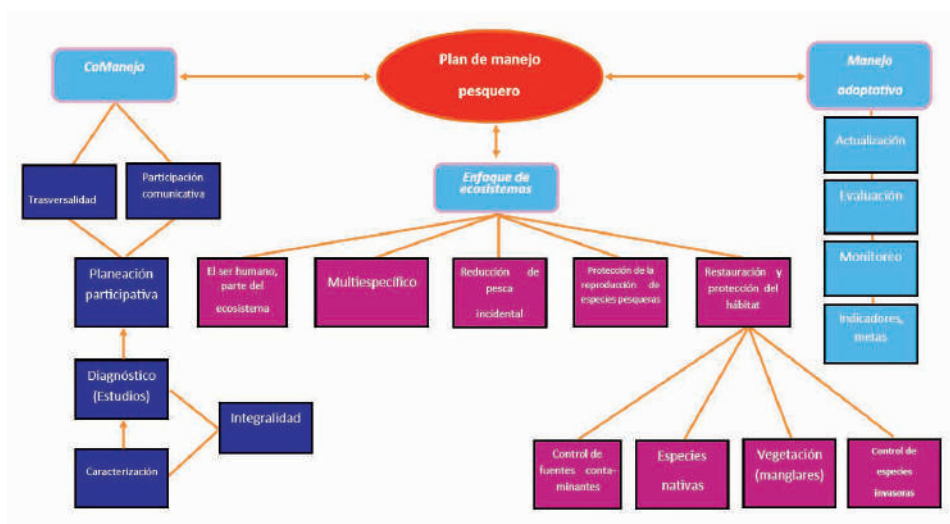


Figura 4. Esquema del proceso del enfoque ecosistémico integrado al manejo de las pesquerías de México (Tomado de Carrillo Alejandro *et al.* (2012).

más la instalación y la puesta en marcha de los comités de manejo para cada pesquería o grupo de recursos pesqueros.

Existe una gran conciencia de las variaciones climáticas tanto en los pescadores como en los diferentes órganos de gobierno. Los pescadores son los que resienten directamente los cambios en el clima, ya que causan una gran variabilidad en la distribución y abundancia de los recursos pesqueros, por movimientos fuera de las zonas de pesca tradicionales, cambios en la capturabilidad de algunas especies; esto conduce a una variación de las capturas, incrementos en los costos de operación y por lo tanto en los precios de las especies, en consecuencia la rentabilidad de las pesquerías se hace menos segura.

Estos cambios tienen un efecto variable según el tipo de pesquería. Por ejemplo, en la captura de pulpo por gareteo, generalmente no se utiliza una gran cantidad de combustible, pues la captura se lleva a cabo cerca de la costa y por el impulso del viento (este debe ser suave, el viento fuerte no permite capturar pulpo); en este caso la variación de las capturas bajas, originó un aumento substancial en el precio del producto, pasando de \$ 40.00/kg hasta \$ 110.00/kg entre 2017 y 2018.

En otro tipo de pesquerías, las variaciones climáticas hacen que los cardúmenes sean encontrados con mayor dificultad, mayor tiempo y mayor gasto de combustible causando pérdidas a la actividad. Muchos pescadores a pesar de que estén en período de pesca optan por no salir a pescar debido a la escasez o baja capturabilidad de los peces. De esta forma, se produce un fuerte impacto sobre la economía de los pescadores. Asimismo, el personal que procesa y finalmente los comerciantes se ven afectados a veces de forma positiva y otras de forma

negativa. El incremento a los combustibles es un factor de enorme importancia, que impacta tanto la actividad del sector reduciendo el esfuerzo de pesca en períodos de baja abundancia o capturabilidad, como la economía de los pescadores y de los comerciantes.

Por otra parte, el cambio climático ya está propiciando variaciones en la distribución y abundancia de los recursos pesqueros; sin embargo, a nivel biológico aún no se han estimado las variaciones en crecimiento, mortalidad natural, mortalidad por pesca, standing stock, ni las relaciones interespecies ni intraespecie que deben también sufrir muchos cambios. Por lo tanto, se deben realizar estudios que sienten las bases del conocimiento en un ambiente con nuevos puntos de referencia ecológicos, biológicos, pesqueros, económicos y de manejo. En este último punto, el manejo ecosistémico debe ser adoptado urgentemente con mayor decisión, no sólo a nivel pesquero, sino de todo el ambiente y en este contexto la gobernanza tiene un papel fundamental. En lo que toca a la gobernanza, Ramos Miranda *et al.* (2013) citando a la CESPAP (2009) señala que la buena gobernanza en el EEP, es un compromiso político continuo y no debería estar sujeto a cambios electorales. Hace hincapié en la participación de toda la sociedad, sin distinguir raza y sector social, marcos jurídicos justos, imparcialmente aplicados y respetuosos de los derechos humanos, transparencia en la toma de decisiones y en la ejecución de medidas de manejo, reciprocidad en la prestación de los servicios brindados en un plazo razonable, equidad entre los miembros de la sociedad asegurando mejorar y mantener su bienestar, efectividad y eficiencia en los procesos y una responsabilidad de la gestión.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Aunque se ha avanzado en la parte legal, aún hay acciones a realizar para darle mayor eficacia y pasar de manera decisiva a la instalación y operación de los comités de manejo de pesquerías señalado en los planes de manejo mismos. En este aspecto, el manejo con enfoque ecosistémico considera la variabilidad, conservación y sustentabilidad de las pesquerías; así, el cambio climático está considerado implícitamente, ya que es un factor que afecta globalmente al ecosistema, los recursos pesqueros y las comunidades pesqueras (su infraestructura, herramientas y condiciones de trabajo). Como se mencionó, en el golfo de México, hasta 2018, se habían publicado los Planes de Manejo de 12 recursos de los cuales sólo se habían instalado los comités de manejo de 3 pesquerías. Esto no implica que las pesquerías estén sin manejo; sin embargo, se requiere mayor definición para avanzar en una forma de manejo que integre y de lugar a una gobernanza de mayor amplitud conduciendo a mejores resultados en el manejo del ambiente y de las pesquerías.

Solana Sansores (2010) indica que es necesario empezar a dar soluciones a los problemas del efecto del cambio climático sobre las pesquerías, mediante la adopción de estrategias y políticas públicas tanto a nivel local, regional y nacional. Además, señala que una parte importante conduce a resolver el consumo energético, éste se traduce en la reducción del esfuerzo pesquero y la capacidad de las flotas pesqueras, reduciéndose de manera palpable la demanda de combustibles. En las costas de Campeche, se han observado cambios en la intensidad de pesca de la flota ribereña debido a la alta variación del ambiente y por lo tanto de las capturas, lo que afecta a los pescadores,

quienes se ven obligados a reducir el número de salidas y la duración de las salidas de pesca. Ya que el aumento en el precio de combustible es muy alto y la captura muchas veces no cubre ni los gastos de operaciones de captura. Es necesario reflexionar sobre los apoyos a carburantes para la pesca, pensando en que dadas las condiciones ambientales y la abundancia de los recursos limitar el esfuerzo está planteado en el manejo de las pesquerías, pero parece que estos apoyos van en contrasentido con lo requerido por el manejo sustentable de los recursos pesqueros.

El cambio climático tiene una amplitud geográfica mundial, por lo que es importante mantener una comunicación a nivel nacional e internacional para llevar a cabo aplicaciones nacionales, regionales y locales. Con el cambio climático hay efectos directos sobre la temperatura del aire, los océanos y mares; en consecuencia, surgen otros impactos sobre los organismos y el ecosistema en general. De esta forma, pueden producirse variaciones en la distribución y abundancia de las especies que afectan la disponibilidad del recurso en los mercados y por lo tanto en los precios de los mismos, para lo cual la sociedad debe estar preparada para la gestión en un ambiente cambiante.

Generalmente, no se encuentra la información requerida basada en largas series de datos; de esta forma, un punto a tener en cuenta es la construcción de una estructura institucional para la generación y mantenimiento de largas series de datos del ambiente, de la sociedad y la economía. Integrar la información sobre procesos regionales de importancia: lluvias, inundaciones, sequías, huracanes, con el objetivo

de proteger a la sociedad, sus bienes y las infraestructuras de trabajo y servicios. Ya que la información de calidad es de gran relevancia, pues reduciría la incertidumbre y por lo tanto acercaría a una toma de decisiones con mayor certitud.

Williams *et al.* (2008) proponen un esquema para visualizar el funcionamiento del ecosistema, el cual hemos adaptado para acercarlo al caso del sur del golfo de México. La vulnerabilidad depende de la sensibilidad de las especies y la exposición de factores ambientales incluido el cambio climático. Esta sensibilidad está determinada por su potencial adaptativo (ecológico y evolutivo), la resiliencia de las especies y la capacidad de manejo adaptativo para así,

reducir la vulnerabilidad, tratar los impactos, mitigar la exposición regional o maximizar la resiliencia del sistema gracias a un manejo que incremente el amortiguamiento de los efectos o reduzca las amenazas. Todos los impactos causarán un efecto de “feedback” a través de cambios en las interacciones bióticas/abióticas, pérdida en diversidad genética y cambios o pérdidas en los procesos del ecosistema. Estos efectos de “feedback” podrían tener un efecto de cascada en el ecosistema. Por lo cual, todos los elementos y procesos del ecosistema se debe tener un profundo conocimiento de ellos y una evaluación de su vulnerabilidad (figura 5).

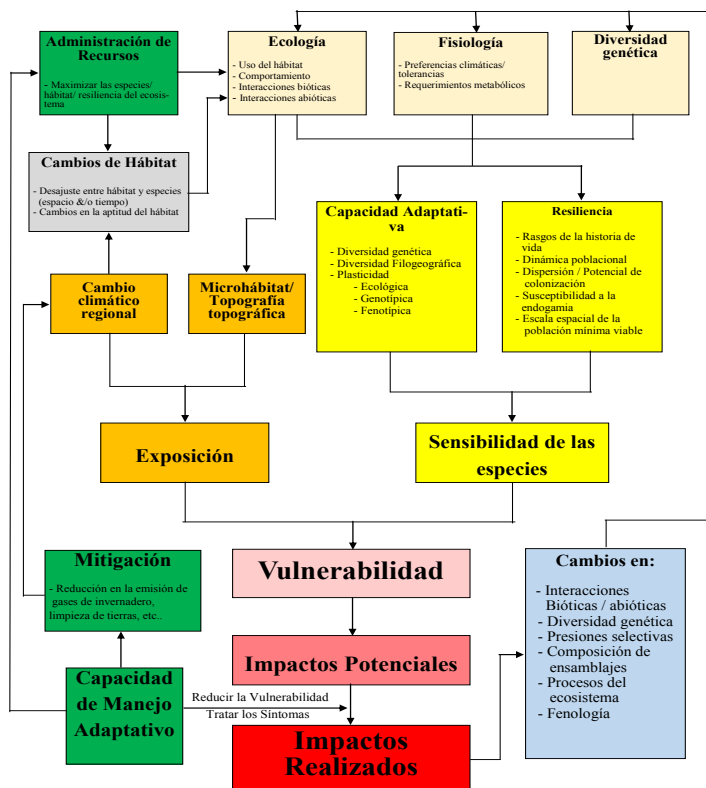


Figura 5. Un marco general para evaluar la vulnerabilidad de las especies al cambio climático global (Modificada de Williams *et al.*, 2008).

Respecto a las pesquerías estuarino-marinas, existe una sinergia de efectos climático-ambientales debido al arrastre de contaminantes a la zona costera y lagunar. Estos sitios son usados por una gran parte de especies comerciales y/o ecológicamente importantes, entonces el impacto sobre las etapas más sensibles como huevos, larvas y juveniles es mayor, tanto por los cambios en variables ambientales (temperatura, salinidad, etc.), como por la contaminación. Esto puede causar diferentes efectos sobre los organismos, los cuales inciden

fuertemente sobre desarrollo ontogénico, comportamiento, crecimiento y “mortalidad natural” de los recursos pesqueros, finalmente afectando su distribución y abundancia. Debido a la co-ocurrencia y conexión espacio-temporal de los fenómenos naturales y antrópicos, es de gran importancia hacer un manejo común sobre los procesos climáticos y sus repercusiones con los procesos naturales y los antrópicos, agricultura, explotación petrolera, pesca, con el fin de evitar sinergias con resultados negativos.

Literatura citada

- Abascal-Monroy, I. M., M. J. Zetina-Rejón, F. Escobar-Toledo, G. A. López-Ibarra, A. Sosa-López, y A. Tripp-Valdez, 2016. Functional and Structural Food Web Comparison of Terminos Lagoon, Mexico in Three Periods (1980, 1998, and 2011). *Estuaries and Coast.* 39 (4): 1282-1293.
- Aguilar-Sierra, V., A. Gracia, y L. A. Soto. 1985. Aspectos poblacionales de los juveniles de *P. setiferus* en la laguna de Términos. Camp. VIII. Congreso Nacional de Zoología, Saltillo, Coah. 25-30 agosto, 1985.
- Alegria, H., F. Wong, T. Bidleman, M. Salvador Figueroa, G. Gold-Bouchot, S. Waliszewski, V. Ceja Moreno, y R. Infanzon, 2005. Ambient air levels of organochlorine Pesticides in air in southern Mexico. p. 225-236. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da. Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Allison, E. H., A. L. Perry, M. C. Badjeck, W. Neil Adger, K. Brown, D. Conway, A. S. Halls, G. M. Pilling, J. D. Reynolds, N. L. Andrew, y N. K. Dulvy, 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries*, 10: 173-196.
- Anthony, A., J. Atwood, P. August, C. Byron, S. Cobb, C. Foster, C. Fry, A. Gold, K. Hagos, L. Heffner, D. Q. Kellogg, K. Lellis-Dibble, J. J. Opaluch, C. Oviatt, A. Pfeiffer-Herbert, N. Rohr, L. Smith, T. Smythe, J. Swift, y N. Vinhateiro. 2009. Coastal lagoons and climate change: ecological and social ramifications in U.S. Atlantic and Gulf coast ecosystems. *Ecology and Society*, 14(1): 8. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art8/>
- Aparicio J., P.F. Martínez-Austria, A. Güitrón, y A.I. Ramírez, 2009. Floods in Tabasco, Mexico: a diagnosis and proposal for courses of action. *J. Flood Risk Manag.*, 2:132-138.
- Arcos Espinosa, G., S. B. Jiménez Hernández, y R. Padilla-Hernández, 2010. Esguerramiento medio anual y disponibilidad de agua en la vertiente del Golfo de México, p. 61-72. In: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetyts-Universidad, Gob. .Campeche. 944 p.
- Arreguín-Sánchez, F., 2010. Cambio climático y el colapso de la pesquería de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) de la Sonda de Campeche. p. 453-464. In: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad

- Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.
- Arreguín-Sánchez, F., M. Ramírez-Rodríguez, M.J. Zetina-Rejón, y V. H. Cruz-Escalona, 2008. Natural hazards, stock depletion, and stock management in the southern Gulf of Mexico pink shrimp fishery. *American Fisheries Society Symposium*, 64: 419-428.
- Aziz, K.A., y J.G. Greenwood, 1981. A laboratory investigation of temperature and salinity tolerances of juvenile *Metapenaeus bennetiae* Raczek and Dall (Crustacea: penaeidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 54:137-147.
- Azuz Adeath, I., 2010. Evidencias de cambios de largo plazo en algunas variables climáticas de los estados costeros de México. p. 33-60. In: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.
- Bœuf, G., y P. Payan, 2001. How should salinity influence fish growth? Comparative Biochemistry and Physiology Part C. *Toxicology & Pharmacology*, 130 (4): 411-423.
- Comisión económica y social para Asia y el Pacífico de las Naciones Unidas (CESPAP), 2009. What is good governance? Pag web: (www.unescap.org/pdd/prs/ProjectActivities/On-going/gg/governance.asp)
- Carrillo Alejandro, P., C. Quiroga Brahm, M. del R. Castañeda Chávez, A. Wakida Kusunoki, E. Márquez García, R. M. Lorán Núñez, F. R. Martínez Isunza, J de J. Villanueva Fortanelli, F. Lango Reynoso, E. Romero Hernández, I. Galaviz Villa, G. Galindo Cortés, y V. Zárate Noble, 2012. Plan de Manejo Pesquero del Sistema Lagunar Carmen-Pajona-Machona, Tabasco. SAGARPA, INAPESCA. 408 p.
- Chiabai, A., 2015. Climate change impacts on tropical forests in Central America: an ecosystem service perspective. The Earthscan Forest Library, Routledge, London, p. 236.
- Conley, D. J., J. Carstensen, G. Aertebjerg, P. B. Christensen, T. Dalsgaard, J. L. S. Hansen, y A. B. Josefson, 2007. Long-term changes and impacts of hypoxia in Danish coastal waters. *Ecological Applications*, 17(sp5): 165-184.
- Daufresne, M., K. Lengfellner, y U. Sommer, 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 106(31):12788-12793.
- Díaz-González, G., A. V. Botello, y G. Ponce-Vélez, 2005. Plaguicidas organoclorados en pastos y peces de los sistemas Candelaria-Panlau y Palizada del Este, laguna de Términos, Campeche, México. p. 207-224. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- DOF, 2014a. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de pulpo (*O. maya* y *O. vulgaris*) del Golfo de México y Mar Caribe. México. 28 de febrero de 2014.
- DOF, 2014b. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), de la sonda de Campeche. Diario Oficial de la Federación. México. 28 de marzo de 2014.
- DOF, 2014c. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero para las especies de camarón rojo (*Farfantepenaeus brasiliensis*) y de Roca (*Sicyonia brevirostris*) de los Caladeros de Contoy, Quintana Roo. Diario Oficial de la Federación. México. 25 de marzo de 2014.
- DOF, 2014d. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero para la langosta espinosa (*Panulirus argus*) de la Península de Yucatán. Diario Oficial de la Federación. México. 13 de marzo de 2014.
- DOF, 2014e. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Mero (*Epinephelus morio*) y especies asociadas en la Península de Yucatán. Diario Oficial de la Federación. México. 25 de noviembre de 2014.
- DOF, 2014f. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de las especies de caracol pateburro o tombarro (*Turbinella angulata*); sacabocado o lix (*Busycum perversum*); rojo o chapel (*Pleuroploca gigantea*); campechana (*Fasciolaria tulipa*); blanco o lanceta (*Strombus costatus*); canelo o boxeador (*Strombus pugilis*); molón o nolón (*Melongena melongena*) y chivita o noloncito (*Melongena corona bispinosa*) del litoral de Campeche. Diario Oficial de la Federación. México. 25 de marzo de 2014.
- DOF, 2014g. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de camarón café (*Far-*

- fantopenaeus aztecus) y Camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*) en las costas de Tamaulipas y Veracruz. Diario Oficial de la Federación. México. 12 de marzo de 2014.
- DOF, 2014h. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de robalo (*Centropristis striata*) del Golfo de México y Mar Caribe. Diario Oficial de la Federación. México. 25 de marzo de 2014.
- DOF, 2014i. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de camarón siete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) en las costas de los estados de Campeche y Tabasco. Diario Oficial de la Federación. México. 31 de marzo de 2014.
- DOF, 2014j. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Lisa (*Mugil cephalus*) y Lebrancha (*Mugil curema*). Diario Oficial de la Federación. México. 31 de marzo de 2014.
- DOF, 2015a. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Golfo de México. Diario Oficial de la Federación. México. 12 de mayo de 2015.
- DOF, 2015b. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero para las especies de pepino de mar café (*Isostichopus badionotus*) y lápiz (*Holoturia floridana*) en la península de Yucatán. Diario Oficial de la Federación. México. 12 de mayo de 2015.
- Espina, S., y C. Vanegas, 2005. Ecofisiología y contaminación, p. 53-78. In: A. V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- FAO, 2001. Ordenación basada en el ecosistema, Principios básicos de la ordenación basada en el ecosistema, Sección 3.2.8 Resumen del Atlas de Pesca de la FAO, 2001 (www.refisheries2001.org).
- Fichez, R., D. Archundia, C. Grenz, P. Douillet, F. Gutiérrez Mendieta, M. Origel Moreno, L. Denis, A. Contreras Ruiz Esparza, y J. Zavala-Hidalgo, 2016. Global climate change and local watershed management as potential drivers of salinity variation in a tropical coastal lagoon (Laguna de Terminos, Mexico). *Aquat. Sci.* DOI 10.1007/s00027-016-0492-1
- Flores Hernández D., J. Ramos Miranda, J. Rendón von Osten, A. Sosa López, L. Alpuche Gual, R. Rosas Vega, M. Memije Canepa, M. Mas Sulub, C. Canul Calam, F. Arreguín Sánchez, M. E. González y de la Rosa, J. Santos Valencia, y L. A. Ayala Pérez, 2000. Evaluación del camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*) y de las comunidades neotónicas de la Laguna de Términos Campeche, México: estimación de los impactos ambientales y pesqueros. Síntesis de Informe. Proyecto CONACyT-Sisierra (ALIM-11-96), Universidad Autónoma de Campeche, Centro EPOMEX. 19p.
- Flores Hernández D., J. Ramos Miranda, L. Vidal Hernández, P. Carrillo Alejandro, A. Sosa López, D. Pech Pool, P. Navarro Pérez, T. Venegas Pech, F. Gómez Criollo, E. Flores Ramos, M. Pérez Sánchez, y M. Can González, 2012. Proyecto: "Manejo y Ordenamiento de las Pesquerías Ribereñas de Camarón Siete Barbas (*Xiphopenaeus kroyeri* Heller 1862) del litoral de Campeche". Informe Etapa II. FOMIX-CONACyT, Clave: CAMP-2009-C01-126349. Universidad Autónoma de Campeche-Instituto EPOMEX.194 p.
- Garcies, L., y J. Cuxart, 2006. Tendencias futuras de la temperatura superficial del mar en el Caribe y el Mediterráneo occidental. *Tethys*, 3: 21-26.
- Harley, C.D.G., A. R. Hughes, K. M. Hultgren, B. G. Miner, C. J. B. Sorte, C. S. Thornber, L. F. Rodriguez, L. Tomanek, y S. L. Williams, 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9(2): 228-241.
- Imbach, P., L. Molina, B. Locatelli, O. Roupsard, G. Mahe, R. Neilson, L. Corrales, M. Scholze, y P. Ciais, 2012. Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. *J. Hydrometeorol*, 13:665-680.
- Morales Rodríguez, M.M., y V. M. Cobos-Gasca, 2005. DDT y derivados en huevos de la tortuga de Carey *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766), en las costas del estado de Campeche, México. p. 237-248. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

- Mouillot, D., y J. Ramos Miranda, 2012. Long-term effects of environmental changes on the nekton biodiversity and the functioning of tropical estuaries (2010-2013), C004, 2009-01, 111465. Report III. Convocatoria Conjunta de Proyectos de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Bilaterales México-Francia o México-España, Proyectos conjuntos entre México-Francia (ANR). 42 p.
- Nixon, S. W., S. Granger, y B. A. Buckley, 2003. The warming of Narragansett Bay. 41 °N 2(1): 19-20. <http://seagrant.gso.uri.edu/41N/Vol2No1/index.html>.
- Officer, C.B., R. B. Biggs, J. L. Taft, L.E. Cronin, M.A. Tyler, y W.R. Boynton, 1984. Chesapeake Bay anoxia: origin, development, and significance. *Science*, 223: 22–27.
- Ortiz Pérez, M.A., I. Sommer Cervantes, y O. Oropeza Orozco, 2010. Criterios para estimar la vulnerabilidad física de las costas de barrera ante los impactos hidrometeorológicos, p. 101-124. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. VillalobosZapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.
- Ospina Noreña, J. E., G. Sánchez Torres-Esqueda, y C. Conde Álvarez, 2010. Impactos del cambio climático en las regiones hidrológicas del Golfo de México. p. 73-88. In: E. Rivera-Arriaga, I. AzuzAdeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.
- Polovina, J.J., y P.A. Woodworth, 2012. Declines in phytoplankton cell size in the subtropical oceans estimated from satellite remotely-sensed temperature and chlorophyll, 1998–2007. Deep-Sea Research II, 77–80: 82–88.
- Ponce Vélez, G., y A. V. Botello, 2005. Niveles de hidrocarburos en el Golfo de México. p. 269-298. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Pörtner, H.O., y M. A. Peck, 2010. Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *Journal of Fish Biology*, 77: 1745-1779. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x
- Pörtner, H.O., y R. Knust, 2007. Climate Change Affects Marine Fishes Through the Oxygen Limitation of Thermal Tolerance. *Science*, (315): 95-97.
- Potts, W. M., R. Henriques, C. V. Santos, K. Munnik, I. Ansorge, F. Dufois, A. J. Booth, C. Kirchner, W. H.H. Sauer, y P. W. Shaw, 2014. Ocean warming, a rapid distributional shift, and the hybridization of a coastal fish species. *Global Change Biology*, 20: 2765-2777, doi: 10.1111/gcb.12612
- Quiroga-Martínez R., 2009. Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. CEPAL Naciones Unidas, Santiago de Chile. Serie Manuales, 61: 129 p.
- Rahmstorf, S., 2002. Ocean circulation and climate during the past 120,000 years. *Nature*. 419: 207-214.
- Ramírez-Elías, M.A., A.V. Córdova-Quiroz, J.G. Cerón-Bretón, R.M. Cerón-Bretón, J. Rendón-von Osten, y J. H. Cortés-Simón, 2016. Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane (DDT) and Endosulfan in Sediments of Sabancuy Lagoon, Campeche, Mexico. *Open Journal of Ecology*, 6: 22-31. <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2016.61003>
- Ramos-Miranda, J.L., D. Quiniou, D. Flores-Hernández, T. Do Chi, L. Ayala Pérez, y A. Sosa-Lopez. 2005. Spatial and temporal changes in the nekton of the Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Journal of Fish Biology*, 66: 513–530.
- Ramos Miranda, J., D. Flores Hernández, L. A. Ayala Pérez, J. Rendón von Osten, G. Villalobos Zapata, y A. Sosa López, 2006. Atlas Ictiológico e Hidrológico de la Laguna de Términos. Universidad Autónoma de Campeche, 173 p. ISBN 968-5722-44-7.
- Ramos Miranda J., D. Flores Hernández, A. Sosa López, E. Sosa Cordero, J. López Rocha, F. Arreguín Sánchez, y A. Ramírez González, 2013. Manual de indicadores y metodología para la aplicación del enfoque ecosistémico en las pesquerías de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. RNIIPA, COFUPRO, UAC. 121 p.

- Rendón von Osten, J., M. Memije Canepa, y N. A. Ek Moo, 2005. Plaguicidas orgánicos persistentes (POPs) en sedimentos de la costa sur de Campeche, México. p. 249-260. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Rivera-Arriaga, E., e I. Azuz Adeath, 2010. La gobernanza de las costas y océanos de México en un clima cambiante, p. 739-772. In: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CetyS Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.
- Roessig, J. M., C. M. Woodley, J. J. Cech, Jr., y L. J. Hansen, 2004. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14: 251-275.
- SEMARNAT, 1997. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 164p.
- SEMARNAT, 2002. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Ría Celestún. Reserva de la Biosfera Los Petenes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 74 p.
- SEMARNAT, 2006. Programa de Conservación y Manejo (PCM), 2006. Reserva de la Biosfera Los Petenes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 204 p.
- SEMARNAT, 2014. Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 486 p.
- Sharp, G.D., 2003. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis. FAO Fisheries Technical Paper, No. 452. 75p.
- Signoret, M. 1974. Abundancia, tamaño y distribución de camarones (crustácea-Penaeidea) de la laguna de Términos, Campeche y su relación con algunos factores hidrológicos. *Anales del Instituto de Biología*, 45. Serie Zoología, 1: 119-140.
- Siro, C., S. Villéger, D. Mouillot, A. M. Darnaude, J. Ramos-Miranda, D. Flores-Hernández, y J. Panfili, 2015. Combinations of biological attributes predict temporal dynamics of fish species in response to environmental changes. *Ecological Indicators*, 48: 147-156.
- Soto-Galera E., J. Piera, y P. López, 2010. Spatial and temporal land cover changes in Terminos Lagoon Reserve, Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, 58 (2): 565-575.
- Solana-Sansores L. R., 2010. Efectos sociales, económicos y políticos del cambio climático en las pesquerías mexicanas. p. 305-318. In: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CetyS Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.
- Teichert, N., M. Lepage, X. Chevillot, y J. Lobry, 2017. Environmental drivers of taxonomic, functional and phylogenetic diversity (alpha, beta and gamma components) in estuarine fish communities. *Journal of Biogeography*, 2017:1-12.
- Tilman, D., C. L. Lehman, y C. E. Bristow, 1998. Diversity-stability relationships: statistical inevitability or ecological consequence? *The American Naturalist*, 15(3): 277-282.
- UNESCO, 2009. Manual para la medición del progreso y de los efectos directos del manejo integrado de costas y océanos. UNESCO. 217 p.
- Visser, M.E., y C. Both, 2005. Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proc. R. Soc. B.*, 272: 2561-2569. doi:10.1098/rspb.2005.3356
- Valenzuela-Sánchez, I.S., G. Gold-Bouchot, y V. Ceja Moreno, 2005. Hidrocarburos en agua y sedimentos de la laguna de Chelem, y puerto Progreso, Yucatán, México. p. 311-328. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Villanueva, F.S., y A.V. Botello, 2005. Vigilancia y presencia de metales tóxicos en la laguna el Yucateco, Tabasco, México. p. 407-430. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bou-

- chot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. C. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg, y F. Bairlein, 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 216: 389-395.
- Williams S. E., L. P. Shoo, J. L. Isaac, A. A. Hoffmann, y G. Langham, 2008. Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *PLoS Biology*, 6 (12): 2621-2626.
- Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Dominguez, P. Chavance, y D. Flores Hernandez, 1983. Environmental behavior of Terminos Lagoon Ecological System, Campeche, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 10 (1): 137-176.
- Yáñez-Arancibia, A. y J. W. Day, Jr. 1982. Ecological Characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the southern Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta*, SP: 431-440.
- Zapata-Pérez, O., M. del Río, J. Domínguez, R. Chan, V. Ceja, y G. Gold-Bouchot, 2005. Preliminary studies of biochemical changes (ethoxycoumarin O-deethylase activities and vitellogenin induction) in two species of shrimp (*Farfantepenaeus duorarum* and *Litopenaeus setiferus*) from the Gulf of Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61: 98-104.
- Zetina Rejon M. J., 2004. Efectos de la pesca en ecosistemas inter-dependientes: Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México. Tesis Doctor. Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR. 111 p.

Situación actual de conservación y manejo de meros y pargos en el sureste del golfo de México y mar Caribe Mexicano

A. Aguilar-Perera

Resumen

En el sureste del golfo de México (GOM) y mar Caribe Mexicano (MCM), la Carta Nacional Pesquera (CNP) de México reconoce 16 especies de meros (Epinephelidae) y 12 de pargos (Lutjanidae) que se encuentran bajo aprovechamiento comercial. A nivel del océano Atlántico Oeste (OAO), la IUCN ha evaluado poblacionalmente a 17 especies de meros y 12 de pargos. Las evaluaciones de la IUCN han categorizado en peligro de extinción a 10 especies de meros y 5 de pargos a nivel OAO y 7 de meros

y 3 de pargos a nivel GOM. Entre las especies de meros en extinción, tanto a nivel OAO como GOM, se encuentran *Epinephelus morio*, *E. striatus*, *E. itajara*, *Mycteroperca bonaci*, *M. venenosa*, *M. intestialis* y *Hyporthodus nigrurus*, y entre los pargos en extinción están *Lutjanus campechanus*, *L. synagris* y *Rhomboplites rhomboplites*. Varias especies de meros y pargos forman agrupaciones masivas para desove en sitios y temporadas predecibles en el arrecife coralino y éstas agrupaciones son aprovechadas comercialmente por los pescadores lo que aumenta la vulnerabilidad a la sobrepesca en las poblaciones de estos peces por ser capturados durante su período reproductivo. La CNP sugiere instrumentos de política y manejo pesquero (e. g. normas oficiales mexicanas, planes de manejo pesquero, talla mínima de captura, vedas) para muchas especies de peces e invertebrados que están bajo aprovechamiento comercial en México. Lamentablemente, la CNP aún no considera a los pargos con alguno de tales instrumentos. No obstante, a pesar de tales instrumentos las tendencias poblacionales de meros y pargos sugieren que sus poblaciones y sus pesquerías están deterioradas. La población de *E. morio* en el sureste del GOM corre el riesgo de no ser viable para la pesca, mientras que para los pargos se desconocen sus condiciones pesqueras. En esta revisión se describen los instrumentos de política pesquera y manejo, y su relación con la conservación biológica, de meros y pargos en el sureste del GOM y MCM. Se ofrecen recomendaciones para robustecer la gobernanza de estas pesquerías con base en una visión integral y de manejo vinculando intereses de pescadores, academia y gobierno para procurar la permanencia de las poblaciones de estos peces y evitar su colapso pesquero y biológico.

Palabras clave: pesca, conservación, meros, pargos, península de Yucatán

Introducción

A nivel mundial, la pesca en el océano es una de las actividades más antiguas de extracción de animales silvestres cuya intensidad va en aumento por la gran demanda por recursos pesqueros como respuesta al crecimiento demográfico humano (Jackson *et al.*, 2001; Lotze y Worm 2009; Pauly *et al.*, 2005). Esta demanda por los recursos ha ocasionado una disminución poblacional de peces marinos de importancia comercial que ha puesto en peligro de extinción a varias especies (Myers y Worm 2003; Ripple *et al.*, 2019).

El manejo de las pesquerías marinas presenta grandes desafíos por su gran complejidad, tanto biológica y de conservación

como social y económica (McClanahan *et al.*, 2009, 2015; Aswani *et al.*, 2018). En consecuencia, a nivel mundial en varias pesquerías se están considerando todos los factores involucrados para lograr pesquerías sustentables que eviten el colapso poblacional, pero al mismo tiempo mantengan la viabilidad pesquera y económica (Kenny *et al.*, 2018; McClanahan, 2018, Salas *et al.*, 2019). De hecho, mantener los abastos pesqueros a niveles sostenibles es una de las metas del Objetivo 14 de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas a 2030 (ONU 2018), y se han estado desarrollando estrategias de manejo pesquero que reconozcan la importancia de

los servicios del ecosistema (Pauly, 2018; Pascoe *et al.*, 2019; Chagaris *et al.*, 2019).

A nivel mundial, las especies de meros (Epinephelidae) y pargos (Lutjanidae) son capturadas principalmente por pesquerías artesanales, tradicionales o de subsistencia, aunque también de manera recreativa usando varios artes de pesca (Coleman *et al.*, 2000; Hawkins y Roberts, 2004; Craig *et al.*, 2011), y en la mayor parte de los casos estas pesquerías son multiespecíficas (Costa *et al.*, 2003; Gobert *et al.*, 2005; Rhodes y Tupper, 2007, Claro *et al.*, 2009; Monroy *et al.*, 2010). Esto implica que estas pesquerías disponen de un solo arte de pesca, pero capturan varias especies. La gran mayoría de las pesquerías multiespecíficas se realiza en países en desarrollo donde su estatus como pesquerías se conoce muy poco o en el peor de los casos está en deterioro (Claro *et al.*, 2009; Sadovy *et al.*, 2013; Saldaña *et al.*, 2017).

La vulnerabilidad a la pesca comercial para varias especies de meros y pargos radica principalmente en que estos peces tienen una talla de madurez sexual tardía y una tasa de crecimiento corporal lento (Coleman *et al.*, 2000; Morris *et al.*, 2000), pero sobre todo porque son capturados durante su período reproductivo en agrupaciones de desove (Sala *et al.*, 2001; Heyman *et al.*, 2005; Aguilar-Perera, 2006; Sadovy *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2008). Este comportamiento reproductivo es predecible en tiempo y espacio en el arrecife coralino, por lo que los pescadores han explotado las agrupaciones de desove por años (Sadovy *et al.*, 2008). La pesca intensa en estas agrupaciones ha puesto en riesgo la estabilidad poblacional y conservación biológica de las especies explotadas (Sadovy de Mitcheson, 2016; Gruss *et al.*, 2018).

En el OAO, se han reportado 25 especies de meros (Epinephelidae) y 17 especies de pargos (Lutjanidae) (Carpenter, 2002). De estas especies, en el golfo de México (GOM), y en especial frente a la costa de la península de Yucatán, México, destacan por importancia comercial el mero rojo, *Epinephelus morio* (Burgos y Defeo, 2004; Giménez-Hurtado *et al.*, 2005; López-Rocha y Arreguín-Sánchez 2008; López-Rocha *et al.*, 2009, Brulé *et al.*, 2018) y el huachinango *Lutjanus campechanus* (Arreguín-Sánchez y Manickchand-Heileman, 1998).

En el sureste del GOM y mar Caribe Mexicano (MCM), la pesquería de meros y pargos representa cerca de 23 % del total que concentra a 15 familias de peces (Galindo-Cortés *et al.*, 2019). Lamentablemente, los estudios pesqueros en meros solamente se han enfocado en explorar la situación pesquera del mero rojo *E. morio*, cuya pesquería se considera sobreexplotada (Giménez-Hurtado *et al.*, 2005), y es precisamente con la biología reproductiva de esta especie (Brulé *et al.*, 1999) que se han elaborado instrumentos de política pesquera y manejo como la veda, talla mínima de captura, norma oficial mexicana y plan de manejo pesquero. Lamentablemente se han desatendido las demás especies de meros de importancia comercial que incluyen cerca de 16 especies permaneciendo en completo desconocimiento. Con relación a los pargos, de las 12 especies no existen estudios sobre su estatus pesquero y solamente para el huachinango *L. campechanus* se conoce muy poco sobre su situación pesquera (Arreguín-Sánchez y Manickchand-Heileman 1998), pero no así a nivel de México y tampoco existen instrumentos de política pesquera y manejo.

El objetivo de este trabajo es revisar la información científica disponible sobre biología y estatus de conservación de especies de meros y pargos, así como describir los instrumentos de política y manejo pesquero a nivel federal en el sureste del GOM y

MCM, y también presentar un panorama general sobre la gobernanza de estas pesquerías y ofrecer recomendaciones integrales para la conservación y manejo pesquero de las especies aprovechadas en esta región geográfica.

Evaluaciones IUCN en conservación biológica de especies de meros y pargos del golfo de México y Atlántico Oeste

En el GOM y MCM, 17 especies de meros (Epinephelidae) han sido evaluadas poblacionalmente por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) dentro de sus comités relacionados con la Lista Roja de especies en peligro de extinción (tabla 1). La mayoría de estas especies de meros y pargos se encuentra sujeta a varios niveles de explotación pesquera por su importancia comercial. De acuerdo con la mejor y mayor cantidad y calidad de datos poblacionales y biológicos disponibles para cada una de las especies evaluadas, la Lista Roja IUCN ha diagnosticado sus poblacionales y elaborado fichas técnicas (tabla 1). En sí, la Lista Roja IUCN establece categorías de evaluación poblacional para flora y fauna a nivel internacional (IUCN, 2012) e incluye las siguientes categorías: (a) datos insuficientes (Data Deficient, DD): cuando no hay información adecuada para hacer una evaluación de su riesgo de extinción con base en la distribución y/o condición de la población; (b) preocupación menor (Least Concern, LC): no cumple ninguno de los criterios que definen las categorías de en Peligro Crítico, en Peligro, Vulnerable o Casi Amenazado; (c) Casi Amenazado (Near Threatened, NT): no cumple los cri-

terios para en Peligro Crítico, en Peligro o Vulnerable, pero pronto pudiera cumplirlos; (d) Vulnerable (Vulnerable, VU): Reducción del tamaño de su población mayor a 50 % en los últimos 10 años, entre varios otros criterios; (e) en peligro (Endangered, EN): Reducción del tamaño de su población mayor a 70 % en los últimos 10 años, entre varios otros criterios; (f) en peligro crítico (Critical Endangered, CR): Reducción del tamaño de su población mayor a 80 % en los últimos 10 años, entre varios otros criterios.

Las evaluaciones del estatus poblacional de las especies de meros (Epinephelidae) del OAO y el GOM han sido elaboradas por dos grupos de científicos expertos: El Grupo de Especialistas de Meros y Lábridos de IUCN (a nivel OAO) y el Grupo de Especialistas de Peces Costeros de la IUCN (a nivel GOM). En el GOM y en orden creciente (de categorías de menor a mayor peligro de extinción) (tabla 1), se encuentran siete especies de meros: el Rojo (*E. morio*) (NT), el Fiat (*H. nigritus*) (NT), el Negrilla (*M. bonaci*) (VU), la Gallina (*M. interstitialis*) (VU), la cherna (*E. itajara*) (VU), el Guacamayo (*M. venenosa*) (EN) y del Caribe (*E. striatus*) (CR). Las demás especies de meros se encuentran en la categoría de Preocupación Menor

Tabla 1. Especies de mero (Epinephelidae) del océano Atlántico y golfo de México que han sido evaluadas y categorizadas de acuerdo con su situación de extinción poblacional por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés).

Especies	Nombre común	Nombre inglés	IUCN AO	IUCN GOM
<i>Cephalopholis cruentata</i>	Cabrilla	Graysby	LC (1)	LC (2)
<i>Cephalopholis fulva</i>	Cabrilla roja	Coney	LC (3)	LC (4)
<i>Epinephelus guttatus</i>	Mero cabrilla	Red hind	LC (5)	LC(6)
<i>Epinephelus itajara</i>	Mero cherna	Goliath	VU (7)	EN (8)
<i>Epinephelus morio</i>	Mero rojo	Red	VU (9)	NT (10)
<i>Epinephelus striatus</i>	Mero del Caribe	Nassau	CR (11)	CR (12)
<i>Epinephelus drummondhayi</i>	Mero lenteja	Speckled	DD (13)	LC (14)
<i>Epinephelus adscensionis</i>	Payaso	Rock hind	LC (15)	LC (16)
<i>Hyporthodus flavolimbatus</i>	Mero extraviado	Yellowedge	VU (17)	LC (18)
<i>Hyporthodus nigritus</i>	Fiat	Warsaw	NT (19)	NT (20)
<i>Hyporthodus niveatus</i>	Cherna pintada	Snowy	VU (21)	LC (22)
<i>Mycteroperca bonaci</i>	Negrillo	Black	NT (23)	VU (24)
<i>Mycteroperca interstitialis</i>	Gallina	Yellowmouth	VU (25)	VU (26)
<i>Mycteroperca microlepis</i>	Abadejo	Gag	VU (27)	LC (28)
<i>Mycteroperca phenax</i>	Garropa	Scamp	DD (29)	LC (30)
<i>Mycteroperca tigris</i>	Vampiro	Tiger	DD (31)	LC (32)
<i>Mycteroperca venenosa</i>	Guacamayo	Yellowfin	NT (33)	EN (34)

IUCN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. AO: Atlántico Oeste, GOM: golfo de México. DD (Data Deficient): Datos Deficientes, LC (Least Concern): Preocupación Menor, NT (Near Threatened): Cercanamente amenazada, VU (Vulnerable): Vulnerable, EN (Endangered): En Peligro, CR (Critically Endangered): En Peligro Crítico. Fuente: (1) Rocha (2018), (2) Claro *et al.* (2015), (3) Bertoncini *et al.* (2018), (4) Claro *et al.* (2015), (5) Brule (2018), (6) Claro *et al.* (2015), (7) Bertoncini *et al.* (2018), (8) Espinoza-Pérez *et al.* (2015), (9) Brule *et al.* (2018), (10) Carpenter *et al.* (2015), (11) Sadovy *et al.* (2018), (12) Carpenter *et al.* (2015), (13) Sosa Cordero *et al.* (2018), (14) Carpenter *et al.* (2015), (15) Ferreira *et al.* (2018), (16) Cowan *et al.* (2015), (17) Padovani-Ferreira *et al.* (2018), (18) Claro *et al.* (2015), (19) Aguilar-Perera *et al.* (2018), (20) Cowan *et al.* (2015), (21) Bertoncini *et al.* (2018), (22) Claro *et al.* (2015), (23) Padovani-Ferreira *et al.* (2018), (24) Lindeman *et al.* 2015, (25) Padovani-Ferreira *et al.* (2018), (26) Cowan *et al.* (2015), (27) Koenig *et al.* (2018), (28) Cowan *et al.* (2015), (29) Afonso *et al.* (2018), (30) Rocha *et al.* (2015), (31) Brule y Ferreira (2018), (32) Carpenter *et al.* (2015). Las negritas indican que la categoría está en riesgo de extinción.

(LC). A nivel OAO, son 10 las especies de meros que están en peligro de extinción y las demás especies en categorías de preocupación menor (LC) y de datos insuficientes (DD) (tabla 1).

En el sureste del GOM, el mero rojo (*E. morio*) es el más importante comercialmente (Monroy *et al.*, 2010) en comparación con las demás especies de mero. Sin embar-

go, de acuerdo con diagnósticos pesqueros se encuentra sobreexplotado (Burgos y De-Feo, 2004; Giménez-Hurtado *et al.*, 2005). Según la IUCN, en el GOM *E. morio* ha sido categorizado como una especie Casi amenazada (NT), pero a nivel OAO la IUCN la ha categorizado como vulnerable (VU) (tabla 1). En importancia comercial en el sureste del GOM, le sigue el negrillo (*M. bona-*

ci) (Monroy *et al.*, 2010). Sin embargo, se desconoce el estatus pesquero de *M. bonaci* en el sureste del GOM y MCM. La IUCN reconoce a *M. bonaci* como VU a nivel del GOM y NT a nivel OAO (tabla 1).

Con relación a los pargos (Lutjanidae), son 12 las especies que han sido evaluadas por la IUCN tanto a nivel OAO como a nivel GOM (tabla 2). Las especies de pargo que se encuentra bajo alguna de las categorías de extinción de IUCN a nivel OAO son cinco (de menor a mayor peligro de extinción): el pargo criollo *L. analis* (NT), la rubia *L. synagris* (NT), cubera *L. cyanopterus* (VU), el besugo *R. aurorubens* (VU), el huachinango de castillo *L. campechanus* (VU). A ni-

vel GOM, solamente tres especies están bajo riesgo (de menor a mayor peligro de extinción): la rubia *L. synagris* (NT), el besugo *R. aurorubens* (VU) y el huachinango de castillo *L. campechanus* (VU) (tabla 2).

En el sureste del GOM, el pargo rojo (*L. campechanus*) es el más importante comercialmente (Arreguin-Sanchez y Manickchand-Heileman, 1998) en comparación con las demás especies de pargo. Sin embargo, se desconoce su estatus pesquero y no existen estudios que evalúen su condición pesquera. Se desconoce por completo cuál es el estatus pesquero de las demás especies de pargo en el sureste del GOM.

Tabla 2. Especies de pargos (Lutjanidae) del océano Atlántico y golfo de México que han sido evaluadas y categorizadas de acuerdo con su situación de extinción poblacional por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés).

Especies	Nombre común	Nombre inglés	IUCN AO	IUCN GOM
<i>Etelis oculatus</i>	Seda	Blear-eyed	DD (1)	LC (2)
<i>Lutjanus bucanella</i>	Huachinango aleta negra	Blackfin	DD (3)	LC (4)
<i>Lutjanus campechanus</i>	Huachinango de castillo	Red	VU (5)	VU (6)
<i>Lutjanus vivanus</i>	Huachinango ojo amarillo	Silk	LC (7)	LC (8)
<i>Lutjanus analis</i>	Pargo criollo	Mutton	NT (9)	LC (10)
<i>Lutjanus apodus</i>	Pargo	Schoolmaster	LC (11)	LC (12)
<i>Lutjanus cyanopterus</i>	Cubera	Cubera	VU (13)	DD (14)
<i>Lutjanus griseus</i>	Mulato	Grey	LC (15)	LC (16)
<i>Lutjanus jocu</i>	Pargo perro	Dog	DD (17)	LC (18)
<i>Lutjanus synagris</i>	Rubia	Lane	NT (19)	NT (20)
<i>Ocyurus chrysurus</i>	Canané	Yellowtail	DD (21)	LC (22)
<i>Rhomboplites aurorubens</i>	Besugo	Vermilion	VU (23)	VU (24)

IUCN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. AO: Atlántico Oeste, GOM: Golfo de México. DD (Data Deficient): Datos Deficientes, LC (Least Concern): Preocupación Menor, NT (Near Threatened): Cercanamente amenazada, VU (Vulnerable): Vulnerable, EN (Endangered): En Peligro, CR (Critically Endangered): En Peligro Crítico. Fuente: (1) Claro *et al.* (2016), (2) Lindeman *et al.* (2016), (3) Lindeman *et al.* (2016), (4) Lindeman *et al.* (2016), (5) Anderson *et al.* (2015), (6) Anderson *et al.* (2015), (7) Lindeman *et al.* (2016), (8) Lindeman *et al.* (2016), (9) Lindeman *et al.* (2016), (10) Lindeman *et al.* (2016), (11) Lindeman *et al.* (2016), (17) Lindeman *et al.* (2016), (18) Lindeman *et al.* (2016), (19) Lindeman *et al.* (2016), (20) Lindeman *et al.* (2016), (21) Lindeman *et al.* (2016), (22) Lindeman *et al.* (2016), (23) Lindeman *et al.* (2016), (24) Claro *et al.* (2016).

Las negritas indican que la categoría está en riesgo de extinción.

La pesquería de mero y negrillo del sureste del golfo de México y mar Caribe Mexicano

La Carta Nacional Pesquera

La Carta Nacional Pesquera (CNP) (DOF, 2018) es un documento normativo federal en México que compila todas las pesquerías reconocidas por la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA). La CNP presenta los volúmenes de captura, tallas mínimas, condición de las pesquerías, estrategias para la conservación de las especies y otras recomendaciones. La CNP reconoce la pesquería multiespecífica del mero y negrillo en el sureste del GOM y MCM compuesta por 35 especies y 11 familias de peces, tanto óseos como elasmobranquios, y las cataloga en objetivo y asociadas.

Las especies objetivo son el mero rojo *Epinephelus morio* y el negrillo *Mycteroperca bonaci*. Las demás 33 especies asociadas incluyen 14 especies de otros meros (Epinephelidae), pero también mojarras, pargos, corvinato, ronco, jureles, cazón y raya (tabla 3). Las estadísticas pesqueras en la CNP registran principalmente los volúmenes de captura del mero rojo, de acuerdo a los puertos de desembarque por estado federativo, pero no incluye volúmenes de captura ni del negrillo ni de las demás especies meros y otras especies asociadas. La CNP menciona o establece la zona de captura que son las aguas marinas de jurisdicción federal del GOM y MCM y también la unidad de pesca que se compone de tres flotas: artesanal, mediana altura y la flota cubana.

De acuerdo con la CNP, la pesquería del mero y negrillo es multiespecífica y aporta 80% a la captura de pescado a la península de Yucatán. De 1970 a 1986 la captura promedio anual fue 13 800 t, de 1987 a 2004 fue de 10 000 t y de 2005 a 2014 de 7 800 t. También, la CNP menciona que el

incremento de temperatura superficial del mar y la acidificación del mar han alterado el ecosistema y quizá hayan impactado los patrones de distribución y abundancia de meros y negrillos. Sin embargo, no existen estudios a nivel regional del sureste del GOM que indiquen que estos factores afectan la pesquería de mero y negrillo.

La CNP incluye información sobre la normatividad vigente para esta pesquería, y menciona la existencia de los siguientes instrumentos de política y manejo pesquero: (1) Norma Oficial Mexicana (NOM-065-SAG/PESC-2014), (2) Plan de Manejo Pesquero (Plan de Manejo Pesquero de Mero (*Epinephelus morio*) y especies asociadas en la península de Yucatán), (3) Tipo de acceso (Permiso de pesca comercial de escama), (4) Talla mínima (36.3 cm de longitud total para *Epinephelus morio*), (5) Arte de pesca y método de captura (tipos de embarcaciones, anzuelos, etc), (6) Veda (1 de febrero al 31 de marzo de cada año para el sureste del GOM y MCM), (7) Cuota (variable), (8) Unidad de Pesca (embarcaciones menores y mayores) y (9) Esfuerzo.

La CNP menciona que el estatus de la pesquería de mero y negrillo está en deterioro, ya que la biomasa actual que maximiza la producción excedente está por debajo de lo requerido. En cuanto a recomendaciones, la CNP establece que no se debe incrementar el esfuerzo, se deben instrumentar las estrategias y acciones establecidas en el Plan de Manejo Pesquero, se debe optimizar el programa de monitoreo y seguimiento de la pesquería a través de bitácoras de pesca en coordinación con la INAPESCA, se debe modificar la NOM-065-SAG/PESC-2014 para actualizar la talla mínima de captura.

Tabla 3. Especies de peces incluidas en la Pesquería del mero y negrillo en la Carta Nacional Pesquera en el golfo de México y mar Caribe.

ESPECIES	Nombre común	Tipo
<i>Epinephelus guttatus</i>	Mero cabrilla	Asociada
<i>Epinephelus itajara</i>	Mero cherna	Asociada
<i>Epinephelus morio</i>	Mero rojo	Objetivo
<i>Epinephelus striatus</i>	Mero del Caribe	Asociada
<i>Epinephelus drummondhayi</i>	Mero lenteja	Asociada
<i>Epinephelus adscensionis</i>	Payaso	Asociada
<i>Hyporthodus flavolimbatus</i>	Mero extraviado	Asociada
<i>Hyporthodus nigrilus</i>	Fiat	Asociada
<i>Hyporthodus niveatus</i>	Cherna pintada	Asociada
<i>Mycteroperca bonaci</i>	Negrillo	Objetivo
<i>Mycteroperca interstitialis</i>	Gallina	Asociada
<i>Mycteroperca microlepis</i>	Abadejo	Asociada
<i>Mycteroperca phenax</i>	Garropa	Asociada
<i>Mycteroperca venenosa</i>	Guacamayo	Asociada
<i>Cephalopholis cruentata</i>	Cabrilla	Asociada
<i>Cephalopholis fulva</i>	Cabrilla roja	Asociada
Otras especies		
<i>Calamus bajonado</i>	Mojarrón	Asociada
<i>Calamus nodosus</i>	Mojarra tigre	Asociada
<i>Carcharhinus acronotus</i>	cangüay	Asociada
<i>Dasyatis americana</i>	Raya grande	Asociada
<i>Haemulon plumieri</i>	chacchi	Asociada
<i>Lopholatilus chamaeleonticeps</i>	Corvinato	Asociada
<i>Lutjanus analis</i>	Pargo criollo	Asociada
<i>Lutjanus campechanus</i>	Huachinango de castillo	Asociada
<i>Lutjanus griseus</i>	Pargo mulato	Asociada
<i>Lutjanus jocu</i>	Pargo perro	Asociada
<i>Lutjanus synagris</i>	Rubia	Asociada
<i>Rachycentrum canadum</i>	Cobia	Asociada
<i>Rhizoprionodon terranova</i>	Cazón de ley	Asociada
<i>Rhomboplites aurorubens</i>	Besugo	Asociada
<i>Seriola dumerili</i>	Esmedregal	Asociada
<i>Seriola rivoliana</i>	Esmedregal	Asociada
<i>Seriola zonata</i>	Medregal rayado	Asociada
<i>Sphyrna tiburo</i>	Cornuda cabeza de pala	Asociada
<i>Squalus cubensis</i>	Cazón cubano	Asociada

La Norma Oficial Mexicana 065-SAG/PESC-2014

Es un instrumento de política y manejo pesquero cuyo objetivo es establecer términos y condiciones para el aprovechamiento del mero y especies asociadas en el GOM y MCM con lo establecido en la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. El contenido de la NOM 065-SAG/PESC-2014 (DOF, 2015a) debe ser seguido obligatoriamente por pescadores permisionarios y concesionarios que pescan mero. La NOM 065-SAG/PESC-2014 autoriza especificaciones de embarcaciones y artes de pesca y cantidad de anzuelos (máximo 500) para embarcaciones mayores y prohíbe el uso de redes de enmalle y fisgas y pescar en zonas de refugio ni usar carnada de animales terrestres. Entre las especificaciones más relevantes y directas de la NOM 065-SAG/PESC-2014 es la talla mínima de captura que únicamente aplica para el mero rojo, *E. morio*, que es 36.3 cm de longitud total. La NOM 065-SAG/PESC-2014 no menciona alguna otra talla mínima de captura para alguna otra especie de mero y que pescadores permisionarios y concesionarios estarán obligados a no capturar meros *E. morio* menores a la talla mínima de captura, apoyar estudios pesqueros, conservar las poblaciones de meros y especies asociadas, y registrar sus capturas en bitácoras. La NOM 065-SAG/PESC-2014 contiene las 18 especies de meros también reconocidas por la CNP y además de 16 especies asociadas a la pesquería del mero y negrilla tal como está en la CNP, y pero considera la talla mínima de captura de cualquier otra especie comercial de mero o alguna especie asociada.

Plan de manejo pesquero del mero rojo, *Epinephelus morio*, y especies asociadas

En 2014 se estableció el Plan de Manejo Pesquero del mero (PMP) y especies asociadas (DOF, 2014a) como un intento para organizar la pesquería. Entre las propuestas del plan está la ampliación de la veda del mero rojo *E. morio*. Esta veda era de un mes y se aplica cada año, pero a partir de 2017 es dos meses (febrero 1-marzo 31) cada año. En sí, el PMP considera como especie objetivo al mero rojo, *E. morio*, y como asociadas a 15 especies de mero reconocidas en la Carta Nacional Pesquera (tabla 3). Se conformó un comité de manejo de la pesquería vinculado con el aprovechamiento del mero rojo y especies asociadas para revisar, dar seguimiento y actualizar el PMP. La actualización del PMP debe ser cada tres años y es fundamental el monitoreo y evaluación basados en dos indicadores: (1) de gestión para medir el cumplimiento de las acciones y (2) de resultados para valorar el logro de los objetivos establecidos.

El PMP tiene propuestas para la conservación de otras especies de mero que están en riesgo por su excesivo aprovechamiento. Entre las propuestas más relevantes para la conservación están: (1) un período de veda alterno para el mero del Caribe *E. striatus* y el negrilla *M. bonaci* desde Punta Petempich, Quintana Roo hasta la frontera con Belice del 1 de enero al 1 de febrero, (2) evaluar el resultado de las vedas de mero *E. morio*, (3) posibilidad de establecer una veda permanente para la cherna *E. itajara*, (4) evaluar la abundancia de meros de aguas profundas (*Hyporthodus*) y (5) modificar la talla mínima de captura del mero *E. morio*. Entre las propuestas de manejo están (1) evaluar la dinámica de las flotas pesqueras, (2) determinar un tamaño de

anzuelo apropiado, (3) evaluar un esfuerzo pesquero óptimo, (4) evaluar el impacto de la pesca recreativa y elaborar un reglamento, (5) fortalecer la inspección y vigilancia en las embarcaciones pesqueras.

De entre todas las propuestas, solamente la ampliación de veda de uno a dos meses es la que se ha implementado. No se evaluado

el estatus pesquero de ninguna otra especie de mero ni tampoco se ha implementado veda para alguna de las otras especies. Se desconoce también la situación de conservación y de pesca de los meros de profundidad como son *Hyporthodus nigritus*, *H. niveatus* y *H. flavolimbatus*.

La pesquería de huachinangos y pargos del sureste del golfo de México

La Carta Nacional Pesquera

La CNP (DOF, 2018) reconoce la pesquería de huachinangos y pargos en el GOM y MCM cuyas especies objetivo son el huachinango de castillo, *Lutjanus campechanus*, el huachinango ojo amarillo, *L. vivanus*, y el huachinango aleta negra, *L. buccanella*. Las demás 36 especies asociadas a la pesquería incluyen no solamente 9 especies de otros pargos (Lutjanidae) sino también mojarras, jureles, meros, ronco, rayas, jureles y tiburones. De acuerdo con la CNP, la pesquería es multiespecífica con una captura anual promedio de 4 596 t entre 1986 a 1996

y con una disminución a 2 996 t (39 %), donde Tabasco aporta el 33 % y Yucatán 18 %. En esta pesquería no se han establecido instrumentos de política y manejo pesquero como talla mínima de captura, veda y NOM. Sin embargo, la CNP recomienda elaborar estos instrumentos y no incrementar el esfuerzo pesquero, así como elaborar la Norma Oficial Mexicana para regular el aprovechamiento de huachinango y pargos y elaborar su correspondiente plan de manejo pesquero. No existe veda alguna para las especies comerciales de pargos en el sureste del GOM y MCM.

Agrupaciones de desove y período de reproducción en meros y pargos del sureste del GOM y MCM

Los meros y pargos muestran la peculiaridad de formar agrupaciones masivas para desovar en sitios y épocas predecibles en el arrecife coralino (Domeier y Colin, 1997; Sadovy de Mitcheson *et al.*, 2008). Este comportamiento reproductivo ha puesto en condición poblacional y pesquera delicadas a varias especies de meros, tanto a nivel OAO como GOM, ya que los pescadores

las han explotado por décadas (Aguilar-Peñera, 2006; Claro *et al.*, 2009; Sadovy *et al.*, 2013). Sin embargo, el descubrimiento de varios sitios de agrupación de desove de estos peces en el arrecife coralino a nivel mundial ha sido precisamente por el conocimiento tradicional de los pescadores (Hamilton *et al.*, 2012). De las especies de meros a nivel OAO, se ha documentado

que forman agrupaciones de desove seis especies: *Epinephelus guttatus*, *E. itajara*, *E. striatus*, *Mycteroperca bonaci*, *M. venenosa* y *M. tigris* (Aguilar-Perera y Aguilar-Dávila, 1996; Domeier y Colin, 1997; Claro y Lindeman, 2003, Heyman *et al.*, 2008, Koenig *et al.*, 2017; Sadovy de Mitcheson *et al.*, 2008; Starr *et al.*, 2018). Las especies de pargos forman agrupaciones de desove son tres: *Lutjanus analis*, *L. cyanopterus*, *L. jocu* (Claro y Lindeman 2003, Heyman *et al.* 2005, Heyman y Kjerfve 2008).

De las especies de meros en el sureste del GOM, frente a la costa norte de la península de Yucatán principalmente, se ha documentado agrupaciones de desove para tres especies de meros: cabrilla (*E. guttatus*) (Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2011, Tuz-Sulub y Brule, 2015), guacamayo (*M. venenosa*) y vampiro (*M. tigris*) (Tuz-Sulub y Brule, 2015). Tanto el mero cherna (*E. itajara*) como el negrillo (*M. bonaci*), que se ha documentado que forma agrupaciones en el OAO, se infiere que también lo hagan frente a la costa de Yucatán (Aguilar-Perera *et al.*, 2008; Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2011) pero no se ha validado científicamente. En el caso del mero rojo (*E. morio*) no se ha documentado que forme agrupaciones masivas para desovar en su ámbito geográfico de distribución dentro del GOM (Brulé *et al.*, 1999; Sadovy de Mitcheson *et al.*, 2008).

En la costa norte de la península de Yucatán no hay esfuerzos para establecer medidas de protección de meros y pargos por parte de las autoridades pesqueras y/o ambientales más allá de los lineamientos de manejo pequeños mencionados por la CNP y la NOM-065 para meros, y tampoco se ha considerado proteger las agrupaciones de desove. En particular, para el Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNAA) ha habido

esfuerzos para identificar científicamente sitios de agrupación de desove de meros (Aguilar-Perera *et al.*, 2008; Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2011) y se ha logrado documentar la agrupación de desove del mero colorado, *Epinephelus guttatus*, con base en las recomendaciones de pescadores veteranos y verificación en sitio (Aguilar-Perera *et al.*, 2008; Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2011). Si bien el PNAA es un área protegida federal, la pesca de meros se realiza todo el año, a excepción de los dos meses de veda y no existen restricciones en cuanto a la talla de captura ni la cantidad de meros extraídos dentro del PNAA (Aguilar-Perera *et al.*, 2008; Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2011). El mero más abundante que se captura en el PNAA casi todo el año es el Negrillo, *Mycteroperca bonaci*, mientras que el mero rojo (*E. morio*) no es abundante.

En la costa de Quintana Roo, en el Caribe Mexicano, los esfuerzos para identificar sitios de desove de meros han sido mayores, principalmente para el mero del Caribe, *Epinephelus striatus* (Aguilar-Perera y Aguilar-Dávila, 1996; Aguilar-Perera *et al.*, 2009; Fulton *et al.*, 2018). En esta región, se han logrado identificar varios sitios de desove para meros (Aguilar-Perera *et al.*, 2009), y varios de ellos dentro de áreas naturales protegidas (ANP). Sin embargo, uno de los sitios históricos de desove de *E. striatus* ubicado frente a Mahahual, Quintana Roo, nunca fue considerado para protección y la agrupación de desove fue mermada por la pesca excesiva al grado tal ya no se formó de nuevo (Aguilar-Perera, 2006).

De las especies de pargos en el sureste del GOM, frente a la costa norte de la península de Yucatán, no se ha verificado qué especies forman agrupaciones desove, pero es posible que algunas lo hagan en el parque na-

cional Arrecife Alacranes (Aguilar-Perera *et al.*, 2008). En la costa de Quintana Roo, sí se ha validado la presencia de agrupaciones de desove del pargo colorado (*L. analis*) y del pargo perro (*L. jocu*) frente a la costa de la Reserva de la Biosfera de Sian Kaan (Fulton *et al.*, 2018) y *L. analis* en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro (Castro-Pérez *et al.*, 2018).

De las 17 especies de meros y las 12 especies de pargos distribuidas geográficamente en el GOM, se ha validado científicamente la talla corporal a la cual maduran sexualmente y su época reproductiva en cinco especies de meros y dos especies de pargos. En meros, se ha verificado que la población de *E. morio* alcanza la madurez sexual a 50.9 cm longitud furcal (LF) de enero a marzo (Brulé *et al.*, 1999), *E. drummondahyi* a 56 cm de longitud total (LT) de abril a mayo y en agosto (Brulé *et al.*, 2000), *M. micro-*

lepis a 72 cm LF de enero a marzo (Brulé *et al.*, 2003a), *M. bonaci* a 72 cm LF de diciembre a marzo (Brulé *et al.*, 2003b) y *M. tigris* a 51.9 cm LF de febrero a junio (Caballero-Arango *et al.*, 2013). En pargos, se ha verificado para *L. campechanus* a 31.4 cm TL de febrero a noviembre (Brulé *et al.*, 2010) y *Ocyurus chrysurus* a 21.3 cm FL de enero a septiembre (Trejo-Martínez *et al.*, 2011).

En el Caribe Mexicano no se tiene información sobre la talla de madurez sexual para meros, salvo la época reproductiva con base en la formación de agrupaciones de desove de meros como *E. striatus* de diciembre a febrero (Aguilar-Perera y Aguilar-Dávila, 1996; Aguilar-Perera *et al.*, 2009) y *M. venosa* en febrero (Aguilar-Perera, 1994). Para el caso de pargos, no se cuenta con información validada al respecto.

Problemática sobre las pesquerías de meros y pargos en el sureste del golfo de México y mar Caribe Mexicano

Los problemas con las pesquerías de meros y pargos en el sureste del GOM y MCM se relacionan con la carencia de registros pesqueros consistentes y confiables por especie por parte de la autoridad pesquera y que no se hace la distinción entre la contribución de la pesca a pequeña escala (*small-scale*) de la industrial y de la recreativa (Galindo-Cortés *et al.*, 2019). En el caso de la pesquería de mero y negrilla, solamente se ha evaluado la situación pesquera para el mero rojo *E. morio* que se considera sobreexplotada (Burgos y Defeo, 2004). Para la pesquería de huachinangos y pargos, se desconoce la situación actual del pargo rojo *L. campechanus* y de las demás especies de

pargos. El esfuerzo pesquero, en cuanto a número de embarcaciones y pescadores, siempre ha aumentado todos los años de acuerdo con estadísticas pesqueras, en conjunto con la falta de vigilancia para cuidar el acceso de pescadores autorizados. También, ha aumentado la captura de meros de talla inferior a la de madurez sexual principalmente en la pesca ribereña. Prevalece la falta de un registro estadístico de la pesca recreativa y la falta de comunicación activa entre el sector pesquero, academia y gobierno. Todos estos factores han propiciado una condición de deterioro, no solamente en la población del mero *E. morio* (que se encuentra NT a nivel GOM y VU a nivel OAO)

sino su condición redituable pesquera a largo plazo y también para todas las demás especies de meros aprovechados por la pesca comercial.

Se desconoce cuál es la trazabilidad de las capturas del mero rojo *E. morio*, y la descripción de la cadena de valor permanece desconocida desde el punto de captura hacia la exportación. En caso de tenerse información al respecto, no hay la difusión adecuada. La cadena de valor de suministro en general para Yucatán ha sido explorada previamente (Pedroza-Gutiérrez, 2019), pero se desconoce las estadísticas precisas de exportación de meros en general. Los volúmenes de captura reportados en los anuarios estadísticos de la CONAPESCA, bajo el nombre común de mero, se desconoce si incluyen individuos de mero rojo, *E. morio* exclusivamente o además de otras especies de mero asociadas a la pesquería. Esto en general es una problemática que aqueja a la pesquería de escama ya que las estadísticas pesqueras de los volúmenes de captura reportados por CONAPESCA son registrados con el nombre común del pez en lugar de usar el nombre científico.

Se desconoce cuál es el nivel de satisfacción de los pescadores con relación a la pesquería de mero y especies asociadas hacia lo redituable de sus ganancias derivadas de la pesca. Esto quiere decir, que no hay estudios que hayan registrado cómo consideran los pescadores a la pesquería de meros y si ellos esperan que mejore o empeore la pesca o si proponen alternativas de subsistencia. De manera informal y a través de talleres y reuniones, los pescadores han manifestado

su inconformidad con la veda del mero y de que se extienda a dos meses, y también están en desacuerdo de que pescadores de otros estados lleguen a aprovechar el recurso debido a que no hay restricciones.

Tampoco existe un estudio que explore cuál es el grado de vulnerabilidad a la subsistencia de los pescadores con relación a la dependencia económica de la pesquería de meros. No existen estudios de evaluación pesquera que sean independientes a la pesquería comercial, para tener puntos de comparación sobre el estimado de abundancia poblacional y mejorar la implementación de modelos predictivos y los resultados ser incorporados a planes de manejo.

Otra problemática estriba en que las propuestas del PMP del mero y especies asociadas establecidas en 2014 no han sido implementadas actualmente, lo que significa una deficiencia grave hacia los compromisos adquiridos entre los sectores involucrados en la pesquería. El PMP del mero y especies asociadas se elaboró con base en consulta pública del sector pesquero y académico para encontrar alternativas adecuadas para promover un acercamiento social, económico y científico a la pesquería y asimismo vincular y apoyar la situación de las demás especies de meros sujetas a aprovechamiento.

En el caso de los pargos, la situación es aún más extrema dado que se desconoce no solamente la situación pesquera del recurso sino el nivel de dependencia económica de los pescadores y la trazabilidad de las capturas a lo largo de la cadena de valor desde la captura hasta la venta internacional.

Indicadores y alcances para poder monitorear la pesca de meros y pargos

Por varios años, se han registrado volúmenes de captura de mero *E. morio* que indican que hay una gran disminución de la pesca. Se han usado indicadores de captura principalmente para identificar tendencias pesqueras. Con base en esos datos, se han calculado escenarios ideales para la pesquería disponiendo de la cantidad de biomasa del recurso (Giménez-Hurtado *et al.*, 2005). De manera discreta, pero efectiva, se han realizado estudios biológicos científicos que indican la talla de reproducción del mero *E. morio*, su crecimiento y sus preferencias alimenticias (Brule *et al.*, 1999). Estos datos son sumamente importantes para poder predecir la situación actual de la población e identificar las tendencias a largo plazo. No se han logrado identificar aún, desde un punto de vista geográfico, cuáles son las áreas principales de reproducción del mero rojo *E. morio* (y de muchas otras especies) en la plataforma frente a la costa de Yucatán salvo de algunas en Arrecife Alacranes (Aguilar-Perera *et al.*, 2008). No obstante, se ha logrado identificar dónde se extraen los volúmenes de captura mayores, principalmente para *E. morio* (Hernández y Seijo, 2003; López-Rocha y Arreguín-Sánchez, 2008; López-Rocha *et al.*, 2009), pero los resultados de estas aportaciones científicas que sugieren el establecimiento de zonas de refugio pesquero no han sido implementadas por las autoridades pesqueras.

Entre otros indicadores necesarios son los volúmenes de exportación de meros y los

destinos internacionales que los reciben. Esto es importante para poder identificar las tendencias de mercado y consumo de los meros y conocer la demanda comercial legal y sus repercusiones económicas a nivel nacional e internacional. En este sentido, también son necesarias las certificaciones de mercado para los meros que permitan identificar si los procedimientos de captura y comercio se encuentran bajo estándares de sostenibilidad y norma internacional.

En el caso de los pargos, la situación es extrema por la falta de información que permitan hacer un diagnóstico fehaciente de su situación pesquera o incluso de su conservación biológica. La CNP (DOF, 2018) establece que las especies objetivo de la pesquería de Huachinango y Pargos son *L. campechanus*, *L. vivanus* y *L. bucannella*. Sin embargo, la CNP presenta un gráfico estadístico de los volúmenes de captura sin especificar si se trata de alguna especie en particular o las tres especies de pargos.

Si bien las estadísticas pesqueras reflejan la información que los propios pescadores reportan, es necesario corroborar que la información registrada sea verás y confiable y que permita hacer estimaciones sobre las tendencias pesqueras actuales y futuras. Es sumamente importante que los registros de captura sean por cada una de las especies que están incluidas en la NOM-065-SAG/PESC-2014 (DOF, 2015a) en el caso de meros. En el caso de pargos, es urgente elaborar una NOM y establecer períodos de veda.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

La pesca de meros y pargos en el sureste del GOM y MCM es multiespecífica. Esto quiere decir que la pesquería extrae varias especies con uno o dos artes de pesca, pero el mercado suele tener preferencia por algunas de las especies que tienen mejores precios a nivel internacional (Pedroza-Gutiérrez, 2019). Las especies que tienen mayor preferencia en las pesquerías de meros y negrillo y huachinango y pargos son el mero rojo *E. morio* y el pargo rojo *L. campechanus* que a su vez figuran como especies objetivo para cada una de las pesquerías.

Si bien es posible que la pesquería de mero y negrillo pueda suplir la demanda pesquera por algunos años más, se espera que ocurra un colapso económico a mediano plazo donde la pesca de mero *E. morio* ya no sea redituable en vista de los aumentos en el esfuerzo pesquero (más pescadores y más embarcaciones), la falta de un registro adecuado de volúmenes de captura junto con la captura ilegal y la captura recreativa no registrada. El único instrumento de política y manejo pesquero para el mero *E. morio* y especies asociadas que está implementado y vigente (pero se renueva cada año a través de un aviso de veda), a pesar de la inconformidad del sector pesquero, es la veda del 1 de febrero al 31 de marzo. Sin embargo, no existe estudio alguno que esté validando y verificando la efectividad del establecimiento de la veda en términos de mantener la biomasa pesquera de *E. morio*.

Es necesario identificar cuáles son los indicadores de satisfacción del sector pesquero y cuál es la percepción del sector con relación a la vulnerabilidad de la población del mero rojo *E. morio* y de las demás especies de meros. Esto quiere decir, que es necesario documentar la opinión del sec-

tor pesquero sobre su percepción de la situación actual y con base en indicadores económicos y de calidad de vida. De esta manera, es posible que se pueda encontrar puntos de convergencia entre sectores empresariales, gremios pesqueros y pescadores en sí, que atiendan cuáles son las necesidades reales de estos sectores pero que al mismo tiempo se asegure la protección y conservación de las poblaciones de meros y pargos en el sureste del GOM y MCM.

Es urgente que se hagan estudios científicos para identificar cuáles son las tallas de madurez sexual de varias de las otras especies de meros y pargos en el sureste del GOM y MCM de las cuales se desconoce su condición pesquera. Asimismo, es imperativo establecer una talla mínima de captura para las especies de meros y pargos, ya que solamente se dispone de la talla de captura para *E. morio* (36.3 cm LT) que en sí es muy inferior a la talla de madurez sexual determinada científicamente (50.9 cm longitud furcal) (Brulé *et al.*, 1999). La NOM 065-SAG/PESC-2014 establece que la talla mínima de captura para *E. morio* “podrá ser modificada tomando como base la recomendación del Instituto Nacional de Pesca basada en la información técnica y biológica disponible, estableciéndose mediante Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación”. Sin embargo, dicha talla no se ha modificado desde que se estableció en 2007 en la NOM 065-PESC 2007 y en vista de la situación pesquera de *E. morio* ya se requiere una actualización que permita la protección de su población. No se ha cambiado a pesar de que hubo una respuesta por parte de SAGARPA (DOF, 2015b) a las observaciones hechas a la NOM-065-PESC 2007 sobre la talla de madurez. No obs-

tante, estas observaciones no se incorporaron en la NOM-065-SAG/PESC-2014 (DOF, 2015a).

Es necesario que, si bien se elabore un proyecto de NOM para pargos, se elabore una NOM para cada una de las especies de meros y pargos que se encuentren bajo alguna de las categorías de extinción de la Lista Roja IUCN a nivel del sureste del GOM, y en particular para para las especies que forman agrupaciones de desove. Varias de las especies de meros y pargos del sureste del GOM se encuentran también dentro de las áreas naturales protegidas (ANP) frente a la península de Yucatán (Aguilar-Perera *et al.*, 2008, 2009; Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2011; Fulton *et al.*, 2018) por lo que es recomendable que se fomente la creación de refugios pesqueros. Este es otro instrumento de política y manejo pesquero propuesto como la NOM-049 SAG/PESC 2014 y que representa una equivalencia a lo que es una reserva pesquera (DOF, 2014b).

Es imperativo que las vedas pesqueras para meros y pargos se establezcan de acuerdo con el período reproductivo de mayor actividad que se haya determinado científicamente con base en la madurez de cada especie. Las vedas por especie promoverían una mayor protección para evitar el colapso poblacional, ya que se asegura que el período reproductivo se mantenga.

Es muy importante que los Consejos de Pesca establecidos por entidad federativa sesionen adecuadamente para revisar de manera fidedigna y con un rigor científico la situación poblacional y pesquera de las especies de meros y pargos bajo aprovechamiento en el sureste del GOM y MCM e identificar fortalezas y debilidades con relación a las regulaciones pesqueras establecidas y fortalecer los vínculos entre el sector pesquero, académico, empresarial y

gubernamental para asegurar que el recurso pesquero no colapse y tampoco colapse las poblaciones de peces.

Es fundamental que se registre adecuadamente las capturas oficiales de meros y pargos por especie y evitar que parte de la captura oficial que es comerciada por intermediarios quede fuera de los registros estadísticos de CONAPESCA y por tanto tal captura quede como ilegal, no regulada y no reportada (Pedroza-Gutiérrez, 2019).

Se ha recomendado en varias ocasiones que se establezca un ordenamiento pesquero para mejorar las condiciones actuales de los meros. Un punto clave para el éxito de algún ordenamiento es identificar plenamente los puntos de convergencia entre los sectores que permitan un funcionamiento adecuado con base en la mejor ciencia disponible que evite la pesca furtiva y fortalezca las inversiones pesqueras a mediano y largo plazo a través de un manejo sustentable de las pesquerías de meros y pargos.

Es imperativo documentar científicamente los casos de pesca ilegal, no reglamentada y no reportada (IUU por sus siglas en inglés) en meros y pargos ya que es común encontrar en mercados locales especímenes de varias especies de meros y pargos que presentan tallas corporales por debajo de la talla de madurez sexual. En el caso de la talla de captura de mero *E. morio* (cuya frecuencia en mercados es mayor) es de 36.3 cm de longitud total y que se encuentra por debajo de la de madurez sexual.

En términos de gobernanza se propone que se construya un andamiaje de confianza entre los sectores involucrados en las pesquerías de meros y pargos que permita documentar las capturas de una manera legal y regulada y que el sector pesquero construya también un papel más participativo que permitan el surgimiento de una

estrategia de co-manejo de los recursos.

Conclusiones

La problemática relacionada con las pesquerías de meros y pargos es compleja. Factores sociales, económicos y académicos revelan que ha habido esfuerzos para documentar la pesquería del mero y negrilla principalmente, mientras que la situación de la pesquería de huachinango y pargos es desconocida.

La CNP reconoce las pesquerías de mero y negrilla y de huachinango y pargos en el sureste del GOM y MCM, cuyas características multiespecíficas de las pesquerías ha impedido evaluar la condición pesquera de cada una de las especies. Entre las especies de mero objetivo de la CNP, el mero rojo *E. morio* tiene una pesquería sobreexplotada y además su población se encuentra bajo la categoría de riesgo de extinción por la Lista Roja IUCN como Casi Amenazada a nivel OAO y Vulnerable a nivel GOM. En el caso de pargos, la CNP reconoce al pargo de cas-

tillo *L. campechanus* como especie objetivo, pero a nivel OAO y GOM la Lista Roja IUCN lo considera Vulnerable.

Las pesquerías de meros y pargos en el sureste del GOM y MCM son complejas debido a que no se registran los volúmenes de captura de las demás especies que la componen, y los instrumentos de política y manejo pesquero disponibles aplican solamente para meros, mientras que los pargos no cuentan con tales instrumentos.

A pesar de que evaluaciones poblacionales, como los de la Lista Roja de IUCN, indican que varias especies de meros y pargos están bajo categorías de riesgo de extinción, las autoridades pesqueras nacionales en México no han otorgado la importancia necesaria para apoyar tanto a las especies en peligro como al sector pesquero para evitar colapsos económicos y biológicos.

Agradecimientos

Agradezco a la comunidad de pescadores de Yucatán en proveer opiniones interesan-

tes sobre la situación pesquera de meros y pargos.

Literatura citada

- Afonso, P., E. Sosa-Cordero y B. Erisman, 2018. *Mycteroperca phenax*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132729A46916602.
- Aguilar-Perera, A., 1994. Preliminary observations of the spawning aggregation of Nassau Grouper, *Epinephelus striatus*, at Mahahual, Quintana Roo Mexico. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 43: 112-122.
- Aguilar-Perera, A., 2006. Disappearance of a Nassau grouper spawning aggregation off the southern Mexican Caribbean coast. *Marine Ecology Progress Series*, 327: 289-296.
- Aguilar-Perera, A., y W. Aguilar-Dávila, 1996. A spawning aggregation of Nassau grouper *Epinephelus striatus* (Pisces: Serranidae) in the Mexican Caribbean. *Environmental Biology of Fishes*, 45: 351-361.

- Aguilar-Perera, A., y A. Tuz-Sulub, 2011. Grouper Spawning Aggregations Off the Yucatan Peninsula, Mexico: Fishing, Management, and Conservation. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 64: 217-221.
- Aguilar-Perera, A., C. González-Salas, A. Tuz-Sulub, H. Villegas-Hernández, y M. López-Gómez, 2008. Identifying reef fish spawning aggregations in Alacranes Reef, off northern Yucatán Peninsula, using the fishermen traditional ecological knowledge. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 60: 554-558.
- Aguilar-Perera, A., C. González-Salas, y H. Villegas-Hernández, 2009. Fishing, management, and conservation of the Nassau Grouper, *Epinephelus striatus*, in the Mexican Caribbean. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 61: 313-319.
- Aguilar-Perera, A., B. Padovani-Ferreira y A.A. Bertoncini, 2018. *Hyporthodus nigrinus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T7860A46909320.
- Anderson, W., R. Claro, J. Cowan, K. Lindeman, B. Padovani-Ferreira, y L.A. Rocha. 2015. *Lutjanus campechanus* (errata version published in 2017). The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T194365A115334224
- Anderson, W., R. Claro, J. Cowan, K. Lindeman, B. Padovani-Ferreira, y L.A. Rocha, 2015. *Lutjanus campechanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T194365A82693222. Downloaded on 12 April 2019.
- Arreguín-Sánchez, F. y S. Manickchand-Heileman, 1998. The trophic role of lutjanid fish and impacts of their fisheries in two ecosystems in the Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*, 53: 143-153.
- Aswani, S., X. Basurto, S. Ferse, M. Glaser, L. Campbell, J.E. Cinner, T. Dalton, I.D. Jenkins, M.C. Miller, R. Pollnac, I. Vaccaro, y P. Christie, 2018. Marine resource management and conservation in the Anthropocene. *Environmental Conservation* 45: 192-202.
- Bertoncini, A.A., B. Ferreira, S. Marques y Y Sadvoy, 2018a. *Cephalopholis fulva*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132806A46917719.
- Bertoncini, A.A., A. Aguilar-Perera, J. Barreiros, M.T. Craig, B. Ferreira y C. Koenig, 2018b. *Epinephelus itajara* (errata version published in 2019). The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T195409A145206345.
- Bertoncini, A.A., B. Ferreira y A. Aguilar-Perera, 2018. *Hyporthodus niveatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T7861A46909546.
- Brulé, T. 2018. *Epinephelus guttatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132770A46917106
- Brulé, T. y B. Ferreira, B. *Mycteroperca venenosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T44683A46915269
- Brulé, T., C. Déniel, T. Colás-Marrufo, y M. Sánchez-Crespo, 1999. Red grouper reproduction in the southern Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society*, 128: 385-402.
- Brulé, T., T. Colás-Marrufo, A. Tuz-Sulub, y C. Déniel, 2000. Evidence for protogynous hermaphroditism in the serranid fish *Epinephelus drummondhayi* (Perciformes: Serranidae) from the Campeche Bank in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 66:513-521.
- Brulé, T., C. Deniel, T. Colás-Marrufo, y X. Renan, 2003a. Reproductive biology of gag in the southern Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*, 63: 505-1520.
- Brulé, T., X. Renán, T. Colás-Marrufo, Y. Hauyon, A.N. Tuz-Sulub, y C. Déniel, 2003b. Reproduction in the protogynous black grouper (*Mycteroperca bonaci* (Poey)) from the Southern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 101: 463-475.
- Brulé, T., T. Colás-Marrufo, E. Pérez-Díaz, y J.C. Sámano-Zapata, 2010. Red snapper reproductive biology in the southern Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139:957-968.
- Brulé, T., A.A. Bertoncini, B. Ferreira, A. Aguilar-Perera, y E. Sosa-Cordero, 2018. *Epinephelus morio*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T44681A46914636.
- Burgos, R., y O. Defeo, 2004. Long-term population structure, mortality and modeling of a tropical multi-fleet fishery: the red grouper *Epinephelus morio* of the Campeche Bank, Gulf of Mexico. *Fisheries Research*, 66: 325-335.
- Caballero-Arango, D., T. Brulé, V. Nón-Quiñones, T. Colás-Marrufo y E. Pérez-Díaz, 2013. Reproductive biology of the tiger grouper in the southern Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society*, 142: 282-299.
- Carpenter, K.E. (Ed.), 2002. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes Part 2 (Opistognathidae

- to Molidae), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO. p.1375-2127.
- Carpenter, K.E., R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015. *Epinephelus drummondhayi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T7854A70322884.
- Carpenter, K.E., R. Claro, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015a. *Mycteroperca venenosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T44683A70330195. Downloaded on 12 April 2019.
- Carpenter, K.E., R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015b. *Epinephelus morio*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T7862A70324790. Downloaded on 11 April 2019.
- Castro-Pérez, J.L., J.E. Arias-González, G. Acosta-González, y O. Defeo, 2018. Comparison of catch, CPUE and length distribution of spawning aggregations of mutton snapper (*Lutjanus analis*) and grey triggerfish (*Balistes capricus*) in a Mesoamerican coral reef. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(4): 717-726
- Chagaris, D., S. Sagarese, N. Farmer, B. Mahmoudi, K. de Mutsert, S. VanderKooy, W.F. Patterson, M. Kilgour, A. Schuller, R. Ahrens, y M. Lauretta, 2019. Management challenges are opportunities for fisheries ecosystem models in the Gulf of Mexico. *Marine Policy*, 101: 1-7.
- Claro, R., y K.C. Lindeman, 2003. Spawning aggregation sites of snapper and grouper species (Lutjanidae and Serranidae) on the insular shelf of Cuba. *Gulf and Caribbean research*, 14: 91-106.
- Claro, R. y G. Sedberry, 2016. *Rhomboplites aurorbens*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190138A84809737. Downloaded on 12 April 2019.
- Claro, R., Y. Sadovy de Mitcheson, K.C. Lindeman, y A.R. García-Cagide, 2009. Historical analysis of Cuban commercial fishing effort and the effects of management interventions on important reef fishes from 1960–2005. *Fisheries Research*, 99:7-16.
- Claro, R., G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015. *Hyporthodus flavolimbatu*s. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T64400A70326073. Downloaded on 12 April 2019.
- Claro, R., G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015. *Hyporthodus niveatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T7861A70327205. Downloaded on 12 April 2019.
- Claro, R., G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015. *Mycteroperca tigris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T44682A70329753.
- Claro, R., G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015a. *Cephalopholis fulva*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T132806A70316634. Downloaded on 12 April 2019.
- Claro, R., G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2015a. *Cephalopholis cruentata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T132761A70316198. Downloaded on 12 April 2019.
- Claro, R., J.D. McEachran y L.A. Rocha, 2015b. *Epinephelus guttatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T132770A70323149. Downloaded on 11 April 2019
- Claro, R., G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Etelis oculatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190309A84805135. Downloaded on 12 April 2019.
- Coleman, F.C., C.C. Koenig, G.R. Huntsman, J.A. Musick, A.M. Eklund, J.C. McGovern, R.W. Chapman y G.R. Sedberry, 2000. Long-lived reef fishes: the grouper-snapper complex. *Fisheries*, 25: 14-21.
- Costa, P.A., A. da Costa Braga, y L.O.F da Rocha, 2003. Reef fisheries in Porto Seguro, eastern Brazilian coast. *Fisheries Research*, 60: 577-583.
- Cowan, J., M. Zapp-Sluis, K.E. Carpenter, G. Sedberry y R. Claro, 2015a. *Epinephelus adscensionis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T132819A70318724. Downloaded on 12 April 2019.
- Cowan, J., M. Zapp-Sluis, K.E. Carpenter, G. Sedberry y R. Claro, 2015a. *Hyporthodus nigritus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T7860A70326886. Downloaded on 12 April 2019.
- Cowan, J., M. Zapp-Sluis, K.E. Carpenter, G. Sedberry, y R. Claro, 2015. *Mycteroperca interstitialis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T64410A70328675. Downloaded on 12 April 2019.
- Cowan, J., M. Zapp-Sluis, K.E. Carpenter, G. Sedberry y R. Claro, 2015. *Mycteroperca microlepis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T14050A70329138. Downloaded on 12 April 2019.

- Craig, M.T., Y. Sadovy de Mitcheson, y P.C. Heemstra, 2011. Groupers of the world. Published by NISC, Grahamstown, South Africa, 402 p.
- DOF 2014a. ACUERDO por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Mero (*Epinephelus morio*) y especies asociadas en la Península de Yucatán. SAGARPA 25 noviembre 2014.
- DOF 2014b. NORMA Oficial Mexicana NOM-049-SAG/PESC-2014, Que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. SAGARPA, 14 abril 2014.
- DOF. 2015a. NORMA Oficial Mexicana NOM-065-SAG/PESC-2014, Para regular el aprovechamiento de las especies de mero y especies asociadas, en aguas de jurisdicción federal del litoral del Golfo de México y Mar Caribe. SAGARPA. 3 julio 2015.
- DOF 2015b. RESPUESTA a los comentarios y modificaciones efectuadas al Proyecto de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-065-PESC-2007, Para regular el aprovechamiento de las especies de mero y especies asociadas, en aguas de jurisdicción federal del litoral del Golfo de México y Mar Caribe. SAGARPA 10 junio 2015.
- DOF 2018. ACUERDO por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. (Continúa en la Tercera Sección). SAGARPA, 11 junio 2018.
- Domeier, M. L., y P.L. Colin, 1997. Tropical reef fish spawning aggregations: defined and reviewed. *Bulletin of Marine Science*, 60: 698-726.
- Espinosa-Perez, H., K.E. Carpenter, G. Sedberry, M. Zapp-Sluis y R. Claro, 2015. *Epinephelus itajana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T195409A70323667. Downloaded on 11 April 2019.
- Ferreira, B., A.A. Bertoncini y J.H. Choat, 2018. *Epinephelus adscensionis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132819A46918058.
- Fulton, S., J. Caamal-Madriral, A. Aguilar-Perera, L. Bourillón, y W.D. Heyman. 2018. Marine Conservation Outcomes are More Likely when Fishers Participate as Citizen Scientists: Case Studies from the Mexican Mesoamerican Reef. *Citizen Science: Theory and Practice*, 3(1).
- Galindo-Cortes, G., L. Jiménez-Badillo, y C. Meiners, 2019. Moving from stock assessment to fisheries management in Mexico: the finfish fisheries from the southern Gulf of Mexico and Caribbean Sea p. 243-263 In: Salas, S., M.J. Barragán-Paladines y R. Chuenpagdee. (Eds.). Viability and Sustainability of Small-Scale Fisheries in Latin America and The Caribbean, MARE Publication Series 19. Springer-Nature.
- Giménez-Hurtado, E., R. Coyula-Pérez-Puelles, S.E. Lluch-Cota, A.A. González-Yanez, V. Moreno-García, y R. Burgos-de-la-Rosa, 2005. Historical biomass, fishing mortality, and recruitment trends of the Campeche Bank red grouper (*Epinephelus morio*). *Fisheries Research*, 71: 267-277.
- Gobert, B., P. Berthou, E. Lopez, P. Lespagnol, M.D.O. Turcios, C. Macabiau, y P. Portillo, 2005. Early stages of snapper-grouper exploitation in the Caribbean (Bay Islands, Honduras). *Fisheries Research*, 73: 159-169.
- Graham, R.T., R. Carcamo, K.L. Rhodes, C.M. Roberts, y N. Requena, 2008. Historical and contemporary evidence of a mutton snapper (*Lutjanus analis* Cuvier, 1828) spawning aggregation fishery in decline. *Coral Reefs*, 27: 311-319.
- Grüss, A., C. Biggs, W.D. Heyman, y B. Erisman, 2018. Prioritizing monitoring and conservation efforts for fish spawning aggregations in the US Gulf of Mexico. *Scientific Reports*, 8: 8473.
- Hamilton, R., Y. Sadovy de Mitcheson, y A. Aguilar-Perera, 2012. The role of local ecological knowledge in the conservation and management of reef fish spawning aggregations. p. 331-369 In: Y. Sadovy de Mitcheson y P. Colin (Eds.) Reef fish spawning aggregations: biology, research and management. Fish & Fisheries Series, vol 35. Springer, Dordrecht.
- Hawkins, J. P., y C.M. Roberts, 2004. Effects of artisanal fishing on Caribbean coral reefs. *Conservation Biology*, 18: 215-226.
- Hernandez, A., y J.C. Seijo, 2003. Spatial distribution analysis of red grouper (*Epinephelus morio*) fishery in Yucatan, Mexico. *Fisheries Research*, 63: 135-141.
- Heyman, W. D., B. Kjerfve, R.T. Graham, K.L. Rhodes, y L. Garbutt, 2005. Spawning aggregations of *Lutjanus cyanopterus* (Cuvier) on the Belize Barrier Reef over a 6 year period. *Journal of Fish Biology*, 67: 83-101.
- Heyman, W. D. y B. Kjerfve, 2008. Characterization of transient multi-species reef fish spawning aggregations at Gladden Spit, Belize. *Bulletin of Marine Science*, 83: 531-551.

- IUCN, 2012. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la IUCN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: IUCN. vi + 34pp. Originalmente publicado como IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. (Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012).
- Jackson, J.B., M.X. Kirby, W.H. Berger, K.A. Bjorn-dal, L.W. Botsford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J.A. Estes, T.P. Hughes, S. Kidwell, C.B. Lange, H.S. Lenihan, J.M. Pandolfi, C.H. Peterson, R.S. Steneck, M.J. Tegner, y R.R. Warner, 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293: 629-637.
- Kenny, A.J., N. Campbell, M. Koen-Alonso, P. Pepin, y D. Diz, 2018. Delivering sustainable fisheries through adoption of a risk-based framework as part of an ecosystem approach to fisheries management. *Marine Policy*, 93: 232-240.
- Koenig, C.C., L.S. Bueno, F.C. Coleman, J.A. Cusick, R.D. Ellis, K. Kingon, J.V. Locascio, C. Malinowski, D.J. Murie, y C.D. Stallings, 2017. Diel, lunar, and seasonal spawning patterns of the Atlantic goliath grouper, *Epinephelus itajara*, off Florida, United States. *Bulletin of Marine Science*, 93: 391-406.
- Koenig, C., A.A. Bertoncini y B. Ferreira, 2018. *Mycteroperca microlepis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T14050A46910927.
- Lindeman, K., R. Claro, G. Sedberry, K.E. Carpenter, M. Zapp-Sluis y J. Cowan, 2015. *Mycteroperca bonaci*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T132724A70328209. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Etelis oculatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190309A1947120.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, H. Espinosa-Perez, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus buccanella*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190170A1943194.
- Lindeman, K., K.E. Carpenter, R. Claro, H. Espinosa-Perez, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus buccanella*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190170A84806496. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus vivanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T194406A2332341.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus analis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T12416A506350.
- Lindeman, K., K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus analis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T12416A84805523. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, H. Espinosa-Perez, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus apodus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T155152A726254.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry, M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus jocu*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190221A84807814. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus cyanopterus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T12417A506633.
- Lindeman, K., K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus cyanopterus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T12417A84806890. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus griseus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T192941A2180367.
- Lindeman, K., K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry, M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus griseus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T192941A84807460. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A.

- Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus jocu*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190221A1944443
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry, y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus jocu*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190221A84807814. Downloaded on 12 April 2019
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus synagris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T194344A2317059
- Lindeman, K., K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Lutjanus synagris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T194344A84808558. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Ocyurus chrysurus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T194341A2316114.
- Lindeman, K., K.E. Carpenter, R. Claro, J. Cowan, G. Sedberry y M. Zapp-Sluis, 2016. *Ocyurus chrysurus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T194341A84809341. Downloaded on 12 April 2019.
- Lindeman, K., W. Anderson, R. Claro, J. Cowan, B. Padovani-Ferreira, L.A. Rocha, G. Sedberry, 2016. *Rhomboplites aurorubens*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T190138A1941553.
- López-Rocha, J.A., y F. Arreguín-Sánchez, 2008. Spatial distribution of red grouper *Epinephelus morio* (Serranidae) catchability on the Campeche Bank of Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*, 24: 282-289.
- López-Rocha, J.A.L., M.O. Albañez-Lucero, F.A. Sánchez, y J.A. de Anda-Montañez, 2009. Analysis of the spatial and seasonal variation in catchability of red grouper, *Epinephelus morio* (Valenciennes, 1828), in the Campeche Bank before overfishing (1973-1977). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44:751-761.
- Lotze, H. K., y B. Worm, 2009. Historical baselines for large marine animals. *Trends in Ecology & Evolution*, 24: 254-262.
- McClanahan, T. R., 2018. Multicriteria estimate of coral reef fishery sustainability. *Fish and Fisheries*, 19:807-820.
- McClanahan, T. R., J.C. Castilla, A.T. White, y O. Defeo, 2009. Healing small-scale fisheries by facilitating complex socio-ecological systems. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19: 33-47.
- McClanahan, T., E.H. Allison y J.E. Cinner, 2015. Managing fisheries for human and food security. *Fish and Fisheries*, 16: 78-103.
- Monroy, C., S. Salas, y J. Bello-Pineda, 2010. Dynamics of fishing gear and spatial allocation of fishing effort in a multispecies fleet. *North American Journal of Fisheries Management*, 30: 1187-1202.
- Morris, A. V., C.M. Roberts, y J.P. Hawkins, 2000. The threatened status of groupers (Epinephelinae). *Biodiversity & Conservation*, 9(7): 919-942.
- Myers, R. A. y B. Worm. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 423(6937): 280.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2018. Sustainable development goals. Goal 14: life below water. United Nations, retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Accessed October 7, 2018.
- Pauly, D., 2018. A vision for marine fisheries in a global blue economy. *Marine Policy*, 87: 371-374.
- Pauly, D., R. Watson, y J. Alder, 2005. Global trends in world fisheries: impacts on marine ecosystems and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1453): 5-12.
- Padovani-Ferreira, B., A. A. Bertoncini, y A. Aguilar-Perera, 2018. *Hyporhodus flavolimbatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T64400A46915591
- Padovani-Ferreira, B., A.A. Bertoncini, D.A. Pollard, B. Erisman, E. Sosa-Cordero, L.A. Rocha, A. Aguilar-Perera, y T. Brule, 2018. *Mycteroperca bonaci*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132724A46916253
- Padovani-Ferreira, B., A.A. Bertoncini y M.T. Craig, 2018. *Mycteroperca interstitialis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T64410A46915949.
- Pascoe, S., T. Cannard, N.A. Dowling, C.M. Dichmont, S. Breen, T. Roberts, R. Pears, y G. M. Leigh, 2019. Developing Harvest Strategies to Achieve Ecological, Economic and Social Sustainability in Multi-Sector Fisheries. *Sustainability*, 11(3): 644.

- Pedroza-Gutiérrez, C., 2019. Seafood Supply Chain Structure of the Fishing Industry of Yucatan, Mexico p. 353-378 In: Salas, S., M.J. Barragán-Paladines y R. Chuenpagdee. (Eds.). Viability and Sustainability of Small-Scale Fisheries in Latin America and The Caribbean, MARE Publication Series 19. Springer-Nature.
- Rhodes, K. L., y M.H. Tupper, 2007. A preliminary market-based analysis of the Pohnpei, Micronesia, grouper (Serranidae: Epinephelinae) fishery reveals unsustainable fishing practices. *Coral Reefs*, 26(2): 335-344.
- Ripple, W. J., C. Wol, T.M. Newsome, M.G. Betts, G. Ceballos, F. Courchamp, M.W. Hayward, B. Van Valkenburg, A.D. Walch, y B. Worm, 2019. Are we eating the world's megafauna to extinction? *Conservation Letters*, e12627.
- Rocha, L.A., 2018. *Cephalopholis cruentata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132761A46916787
- Rocha, L.A., G. Sedberry, y J.D. McEachran, J.D. 2015. *Mycteroperca phenax*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T132729A70329421. Downloaded on 12 April 2019.
- Sadovy de Mitcheson, Y., 2016. Mainstreaming fish spawning aggregations into fishery management calls for a precautionary approach. *BioScience*, 66(4): 295-306.
- Sadovy de Mitcheson, Y., A. Cornish, M. Domeier, P. L. Colin, M. Russell, y K.C. Lindeman, 2008. A global baseline for spawning aggregations of reef fishes. *Conservation Biology*, 22(5):1233-1244.
- Sadovy de Mitcheson, Y., M.T. Craig, A. A. Bertoni, K.E. Carpenter, W.W. Cheung, J.H. Choat, A.S. Cornish, S.T. Fennessy, B.P. Ferreira, P.C. Heemstra, M. Liu, R.F. Myers, D.A. Pollard, K.L. Rhodes, L.A. Rocha, B.C. Russell, M. A. Samoylis y J. Sanciangco, 2013. Fishing groupers towards extinction: a global assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. *Fish and fisheries*, 14(2): 119-136.
- Sadovy, Y., y T. Brule, 2018. *Mycteroperca tigris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T44682A46914961.
- Sadovy, Y., A. Aguilar-Perera, y E. Sosa-Cordero, 2018. *Epinephelus striatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T7862A46909843
- Sala, E., E. Ballesteros, y R.M. Starr, 2001. Rapid decline of Nassau grouper spawning aggregations in Belize: fishery management and conservation needs. *Fisheries*, 26(10): 23-30.
- Salas, S., R. Chuenpagdee, y M. J. Barragán-Paladines, 2019. Drivers and Prospects for the Sustainability and Viability of Small-Scale Fisheries in Latin America and the Caribbean. In Viability and Sustainability of Small-Scale Fisheries in Latin America and The Caribbean (pp. 543-559). Springer, Cham.
- Saldaña, A., S. Salas, A.M. Arce-Ibarra, y E. Torres-Irineo, 2017. Fishing operations and adaptive strategies of small-scale fishers: insights for fisheries management in data-poor situations. *Fisheries Management and Ecology*, 24(1): 19-32.
- Sosa-Cordero, E. y B. Russell, 2018. *Epinephelus drummondhayi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T7854A46909143.
- Starr, R. M., E. Ballesteros, E., Sala, y J.M. Llenas, 2018. Spawning behavior of the tiger grouper (*Mycteroperca tigris*) in a Caribbean atoll. *Environmental Biology of Fishes*, 101(12): 1641-1655.
- Trejo-Martínez, J., T. Brulé, A. Mena-Loría, T. Colás-Marrufo, y M. Sánchez-Crespo, 2011. Reproductive aspects of the yellowtail snapper *Ocyurus chrysurus* from the southern Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*, 79(4): 915-936.
- Tuz-Sulub, A., y T. Brulé, 2015. Spawning aggregations of three protogynous groupers in the southern Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*, 86(1): 162-185.

La necesidad en México de generar un marco regulatorio para el uso de aditivos probióticos en la acuicultura costera

M. C. Monroy Dosta y J. A. Ramírez Torrez

Resumen

En este capítulo se discute sobre la necesidad de la generación de leyes y normas mexicanas para el uso de aditivos probióticos en la producción acuícola de la zona costera; área de transición entre el océano y el continente, que se ha convertido en sitio de desarrollo de distintas actividades productivas de forma intensiva (Del Rio Salas *et al.*, 2016). Tal es el caso de la acuicultura, que es sin lugar a duda la actividad productiva de mayor expansión a nivel mundial, con una tasa anual de crecimiento de casi 9 % (CONAPESCA, 2016). Sin embargo, su intensificación impacta en el ambiente a través del consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación

de efluentes contaminantes, ricos en materia orgánica, hormonas, antibióticos, químicos y aditivos utilizados durante el proceso (Buschmannah *et al.*, 2007). Dentro de los aditivos más utilizados en el cultivo de peces y crustáceos se encuentra el uso de probióticos; microorganismos que se adicionan en la dieta con el fin de mejorar el crecimiento, la supervivencia, la estimulación del sistema inmune y mejorar el microbiota intestinal de las especies cultivadas (Sharifuzzaman y Austin, 2017). Debido a lo anterior, se ha desarrollado una gama de productos comerciales que mencionan ser probióticos, sin embargo, muchos de ellos no cuentan con un etiquetado que indique las cepas que contienen, las dosis administrar y su origen (Rodríguez, 2015), de tal manera que al no existir una entidad que regule el uso indiscriminado de dichos productos se pueden presentar efectos nocivos por la capacidad de transformación, adquisición de plásmidos resistentes y factores de virulencia que desarrollan los microorganismos. Es importante enfatizar que, por definición, un microorganismo probiótico no debe ser patógeno, ni para la especie a la que se va a administrar, ni para el consumidor, ni para el ambiente, según las recomendaciones de la FAO, en el 2012. Esta misma instancia señala la necesidad de desarrollar métodos más eficaces para evaluar la funcionalidad y la seguridad de los probióticos *in vitro* e *in vivo*. Así mismo la nueva regulación europea sobre el uso de alimentos funcionales (Franch *et al.*, 2009), indica que se deben efectuar estudios relativos a las dosis efectivas ya que todavía son muy limitados; además, sus efectos pueden variar según las condiciones de cultivo y la especie cultivada. En el caso de la acuicultura ya existen reportes tanto en América Latica como en Asia, donde se han detectado procesos infecciosos al utilizar *Bacillus subtilis*, en cultivos de camarón, donde se puede enmascarar con lesiones producidas por virus y vibrios. Por lo que se requieren de realizar más estudios y hacer los diagnósticos oportunos (Martínez-Cruz *et al.*, 2014). La actual crisis alimentaria mundial ha ejercido presión sobre los gobiernos, para garantizar el suministro de alimentos para una creciente población. Así, la acuicultura se presenta como una actividad de seguridad alimentaria, que requiere de avances en innovaciones tecnológicas enfocadas en proteger la biodiversidad, la salud pública, y el medio ambiente. En el caso particular de los probióticos han demostrados muchos beneficios al incrementar los rendimientos productivos y control de enfermedades en las granjas de peces y camarón (Wee *et al.*, 2018), pero definitivamente no puede hacerse un uso indiscriminado y sin control por el impacto ambiental a los ecosistemas acuáticos.

Palabras clave: acuicultura costera, aditivos, probióticos, regulación

Introducción

A lo largo de la historia, la zona costera ha sido un centro importante de desarrollo de la sociedad humana. La utilización del mar para el transporte, el comercio, el turismo y la obtención de alimento a través de la pesca y más recientemente de la acuicultura, han sido los factores determinantes para el asentamiento de las poblaciones humanas, lo cual ha traído como consecuencia que los ecosistemas marinos estén fuertemente impactados (INE, 2000; Sampedro *et al.*, 2015).

A pesar de que en México existen diversos instrumentos de política ambiental aplicables a las zonas costeras y marinas, como el Ordenamiento Ecológico Territorial (OET), las Áreas Naturales Protegidas (ANP), la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM); la falta de vinculación entre ellos y los enfoques sectoriales desarticulados, limitan su eficacia (CIMARES, 2012). Por ello surge la necesidad de encaminar esfuerzos hacia la construcción de la Gobernanza ambiental de la zona costera, con la integración de varios sectores de la sociedad, que normalmente, han estado involucrados en el uso y cuidado del ambiente, tales como las comunidades, organizaciones de la sociedad civil, el sector gubernamental, y las instituciones académicas, que proporcionen diferentes puntos de vista para una problemática común; desde aspectos teóricos hasta cuestiones prácticas, con distintos enfoques culturales, sociales y económicos (Montoya y Rojas, 2016). Lo anterior, para facilitar los procesos de toma de decisiones que consideren los intereses públicos y privados como materia prima para la generación de acuerdos de desarrollo territorial y la sostenibilidad ambiental de la zona cos-

tera (Serna, 2016). Sobre todo, si consideramos que en las costas y mares de México se realizan importantes actividades económicas que representan un gran desafío para el desarrollo sustentable (SEMARNAT, 2015).

En el caso específico de la acuicultura es una de las actividades de mayor impacto económico y social ya que busca satisfacer la necesidad creciente de proteína animal para consumo humano y la generación de empleos, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades (Vâradi, 2001; Bozoğlu *et al.*, 2007). De acuerdo con las proyecciones de la FAO, la producción de peces y crustáceos por acuicultura representará el 60 % del consumo de estos productos a nivel mundial para el 2030 (Gonçalves y Santos, 2017). No obstante, la intensificación en la producción ha traído como consecuencia la aparición de enfermedades infecciosas y de tipo nutricional. En respuesta a esto, se ha generado una impresionante industria productora de alimentos balanceados, aditivos y sustancias químicas, según la FAO (2013), se espera que el mercado de alimentos acuícolas alcance más de USD 22 mil millones a finales de 2020. Dentro de los aditivos más utilizados están los pigmentos, las hormonas, aminoácidos, inmunostimulantes, algunas sales y los microorganismos probióticos (Zorriehzaha *et al.*, 2016). Dichos aditivos han sido ampliamente utilizados en el cultivo de peces y crustáceos para mejorar los rendimientos productivos y reducir las enfermedades. Sin embargo, se ha carecido de un marco legal que verifique su calidad y eficacia como alimento funcional, mediante el uso de metodologías estandarizadas, de igual modo se requieren protocolos para validar su seguridad, no solo para

el organismo en el que es administrado sino también para el ambiente; establecer las dosis efecto, tiempos de administración y definir de forma específica las propiedades beneficiosas, así como el establecimiento de correlaciones entre los ensayos de evaluación *in vivo* e *in vitro* (Sanz y Dalmau, 2008). Pero lo más impórtate es generar la legislación que permita, regular, verificar y sancionar el mal uso de los aditivos en acui-

cultura. El objetivo de este capítulo es efectuar un análisis del uso de probióticos en la acuicultura mexicana; desde la perspectiva de los posibles efectos sobre el ambiente, enfatizar la necesidad de generar un marco regulatorio con la idea de beneficiar a la acuicultura nacional a mediano plazo. Así mismo, se proponen indicadores, alcances y maneras para evaluar el impacto de esta biotecnología sobre el ambiente.

Acuicultura de la zona costera

México posee una gran riqueza natural en sus regiones oceánica y costera, por la extensión territorial y su diversidad biológica. De las 32 entidades federativas del país, 17 tienen frente litoral, con 263 municipios costeros, de los cuales 150 cuentan con frente de mar y 113 municipios con influencia costera (INEGI, 2010). Por lo anterior, las zonas costeras son estratégicas, desde el punto de vista económico ya que en ellas se llevan a cabo importantes actividades económicas como la pesca, el turismo, el comercio y la acuicultura. Con relación a la acuicultura a principios de los setenta se presentó una dramática disminución de productos provenientes de la pesca, por lo que se pensó en la generación de proyectos semi-intensivos en la zona costera para el cultivo de camarones marinos principalmente y poco a poco se desarrolló la tecnología requerida para la producción, misma que fué aprovechada por los productores de diversas partes de país (Martir, 2006). Sin embargo, en algunos lugares como Sinaloa la camaronicultura creció a un ritmo extremadamente acelerado lo que ocasionó un colapso de la actividad en los años noventa, principalmente por epizootias virales, que

en gran parte fueron resultado del mal manejo y la falta de planeación y regulación de la actividad (Flores *et al.*, 2007). Años posteriores se trabajó en el control de las enfermedades y el desarrollo de dietas para mejorar la producción. A la par se incrementó el cultivo de ostión, mojarra, tilapia, bagre entre otros.

Hoy en día la acuicultura es probablemente el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y representa ahora casi el 50 % del pescado destinado a la alimentación a nivel mundial contribuyendo significativamente en la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza en el mundo (FAO, 2012). Sin embargo, la acuicultura mal planificada y manejada, conlleva a significativos impactos ambientales en los ecosistemas adyacentes (Naylor *et al.*, 2000). Se observa continuamente contaminación por la descarga de efluentes derivados de la producción, que puede contribuir a la eutroficación y nitrificación de cuerpos receptores. En México, por ejemplo, bajo este último escenario Casillas *et al.* (2006), documentaron que, por cada tonelada de camarón producida en granjas de Sonora, se vertieron en los efluentes 73.3 y

13.2 kg, de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Pero los efluentes no solo son ricos en materia orgánica y compuestos nitrogenados sino también se encuentran cargados de otros insumos adicionados tales como hormonas, antibióticos, químicos, enzimas y microorganismos probióticos que han sido utilizados de manera cotidiana en las unidades de producción (Merrifield *et al.*, 2010; Tacón *et al.*, 2010). Dichos compuestos pueden llegar a ambientes dulceacuícolas,

salobres o marinos y a todos los organismos a través de cadenas tróficas donde además se dan procesos de bioacumulación (Anónimo, 2010; Millanao *et al.*, 2011). Se sabe que en México no se tiene ninguna norma legal para la venta de aditivos alimenticios en acuicultura, por lo que existe la necesidad de establecer lineamientos para un mejor control, monitoreo y sanción por algún daño causado al ambiente o a las especies cultivadas.

Aditivos y microorganismos probióticos

La incorporación de sustancias como aditivos en acuicultura surge fuertemente durante la década de los ochenta, cuando se desarrolló gran interés en el potencial de ciertas sustancias y microorganismos para promover el bienestar de las especies en cultivo (Merrifield *et al.*, 2010). De este modo surgieron nuevos conceptos en nutrición acuícola como es el caso de los alimentos funcionales; concepto propuesto por primera vez en Japón en la década de los 80s con la publicación de la reglamentación de los “Alimentos para uso específico de la salud” (“Foods for specified health use” o FOSHU) y que se refiere a aquellos alimentos que contienen ingredientes que desempeñan un efecto positivo en las funciones fisiológicas del organismo, más allá de su contenido nutricional. En Europa, en 1999 se publicó un documento sobre los aspectos a tomar en cuenta en la investigación, desarrollo y regulación de los alimentos funcionales, que representa un punto de partida para el reconocimiento de este tipo de alimentos. En este documento se menciona que “un alimento funcional es aquel que contiene un componente, nutriente o

no nutriente, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con un efecto añadido por encima de su valor nutricional y cuyos efectos positivos justifican que pueda reivindicarse su carácter funcional o incluso saludable” (ILSI 1992; Ashwell, 2001). Del mismo modo se integra el concepto de “Aditivo” como cualquier sustancia que, independientemente de su valor nutricional, se añade intencionalmente a un alimento con fines tecnológicos. Dentro de los alimentos funcionales más aceptados por los productores y que mejores resultados les ha brindado, están los microorganismos probióticos.

En el año de 1907 se propuso la idea de que la composición del microbiota intestinal estaba en relación a los alimentos ingeridos y con ello se veía la posibilidad de manipular la microbiota, a través de la ingesta de microorganismos que pudieran ofrecer algún beneficio, principalmente, para combatir patógenos (Vasiljevic y Shah, 2008). Fue hasta 1960 cuando se conformó el término “probiótico”, “a favor de la vida” y más tarde Fuller (1989), redefinió el término probiótico, como un suplemento de mi-

croorganismos vivos adicionado a la dieta, que tiene un efecto benéfico sobre el hospedero, al mejorar su equilibrio intestinal; actualmente dicho concepto de probiótico es el más conocido por la población no especializada, el caso del ser humano.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud (FAO y OMS, 2012), estipulan que los probióticos “son microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades apropiadas, confieren beneficios al hospedero y al ambiente que les rodea (Balcázar *et al.*, 2006; Monroy *et al.*, 2012; Verschuere *et al.*, 2000).

Para el sector acuícola, esta línea de investigación se comienza a explorar a finales de la década de los 80s; a partir de entonces se abordan diversos estudios cuya finalidad es la de aislar cepas con potencial probiótico; actualmente se sabe que bacterias Gram negativas anaerobias facultativas son parte

de la microbiota dominante del tracto digestivo de peces y crustáceos y que en muchos casos, representan a los probióticos más eficaces en la acuicultura (Gatesoupe, 2000; Zorriehzahra *et al.*, 2016). Sin embargo, llegar a esta conclusión ha requerido de una ardua investigación, ya que implica conocer la estructura de la comunidad microbiana del hospedero y cuales tienen propiedades probióticas, así como las condiciones en las que dichas cepas ofrecen beneficios al hospedero; es decir, dosis, tiempo de administración, entre otros aspectos. En la tabla 1, se presentan algunos de los estudios realizados enfocados en el análisis de bacterias con potencial probiótico para peces.

Mecanismos de acción

Las rutas y mecanismos por los cuales los probióticos generaran beneficios en los hospederos, se describen en la tabla 2.

Lo que queda por responder en cuanto el uso de probióticos en acuicultura

A pesar de los extensos trabajos publicados sobre el uso de probióticos en acuicultura, aún existen muchos aspectos que atender, los cuáles describimos a continuación:

Especificidad probiótica

Existe una idea generalizada entre los productores acuícolas de que se puede utilizar el mismo probiótico para todas las especies. Sin embargo, de acuerdo con las investigaciones reportadas, los beneficios que ofrecen se encuentran asociados de manera específica a la cepa utilizada, el hospedero y el ambiente. Es decir, no todas las cepas proveen los mismos beneficios (Hai, 2015;

Hossein *et al.*, 2014). Por lo que científicamente se debe determinar el efecto del probiótico considerando el microorganismo utilizado y el estado fisiológico del hospedero, la fase de desarrollo, y condiciones de cultivo. Este es un tema que ha quedado un tanto sin atender, ya que en la mayoría de los casos se utilizan las cepas de manera indistinta en todas las especies, con resultados muy diversos e incluso en pocos casos sin efectos (Balcazar, 2016). Cabe mencionar que la mayoría de los probióticos que se comercializan en el país son importados, por lo cual la realización de proyectos encaminados a obtener formulaciones de

Tabla 1. Cepas probióticas estudiadas en acuicultura de peces.

Probiótico	Sitio de aislamiento	Especie en que se evaluó	Beneficios observados	Referencia
<i>Vibrio alginolyticus</i>	Criadero de Camarón	Salmón Atlántico (<i>S. salar</i>)	Inhibió a <i>Aeromonas salmonicida</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> y <i>V. ordalii</i>	Austin <i>et al.</i> , 1995
<i>Carnobacterium divergens</i> .	Intestino de bacalao (<i>Gadus morhua</i>) y salmón (<i>Salmo salar</i>)	Bacalao Atlántico (<i>G. morhua</i>)	Inhibió a <i>V. anguillarum</i> .	Gildberg <i>et al.</i> , 1997
<i>Carnobacterium sp.</i>	Intestino de salmón	Salmón Atlántico (<i>Salmo salar</i>)	Inhibió a <i>V. anguillarum</i> y <i>A. salmonicida</i>	Joborn <i>et al.</i> , 1997
<i>C. divergens</i> .	Intestino de bacalao (<i>G. morhua</i>) y salmón (<i>Salmo salar</i>)	Alevín de bacalao Atlántico (<i>G. morhua</i>)	Inhibió a <i>V. anguillarum</i>	Gildberg y Mikkelsen, 1998
<i>V. pelagius</i>		Larva de rodaballo (<i>S. maximus</i>)	Mejoró la sobrevivencia	Ringo y Vadstein, 1998
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Intestino de la perca del Nilo (<i>Lates niloticus</i>)	Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>)	Inhibió a <i>V. anguillarum</i>	Gram <i>et al.</i> , 1999
<i>Pseudomonas sp.</i>	Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>)	Inhibió a <i>V. anguillarum</i>	Spanggard <i>et al.</i> , 2000
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Heces de humanos.	Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>)	Inhibió <i>A. salmonicida</i>	Nikoskelainen <i>et al.</i> , 2001
<i>A. hydrophila</i> , <i>V. fluvialis</i> y <i>Carnobacterium sp.</i>	Intestino trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>), salmón Atlántico (<i>Salmo salar</i>) y rodaballo (<i>Scophthalmus maximus</i>).	Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>)	Inhibió <i>A. salmonicida</i>	Irianto y Austin, 2002
<i>Bacillus subtilis</i> y <i>B. licheniformis</i>	Contenido en el producto BioPlus2B	Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>).	Inhibió <i>Yersinia ruckeri</i>	Raida <i>et al.</i> , 2003.
<i>L. rhamnosus</i>	Heces de humanos.	Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>).	Mejoró la respuesta inmune	Panigrahi <i>et al.</i> , 2004
<i>A. sobria</i>	Intestino trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>) y carpa (<i>Cyprinus sp.</i>)	Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>)	Inhibió a <i>Lactococcus garviae</i> y <i>Streptococcus iniae</i> ; mejoró la respuesta inmune	Brunt y Austin, 2005
<i>Enterococcus faecium</i> , <i>E. durans</i> , <i>Leuconostoc sp</i> y <i>Streptococcus sp</i>	Intestino de tilapia nilótica (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Tilapia nilótica (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Produjeron mejor eficiencia alimentaria y con ello mayor crecimiento	Lara-Flores y Olvera-Novoa, 2013
<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	Producto comercial Lycogen™	Tilapia roja (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	Mejoró el crecimiento.	Kuo-Hsun y Wen-Sneng, 2014
<i>L. plantarum</i>	Intestino trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>)	Esturión Siberiano (<i>Acipenser baerii</i>)	Mejoró los índices inmunológicos y el crecimiento.	Pourgholam <i>et al.</i> , 20015

Tabla 2. Mecanismos de acción de los probióticos.

Mecanismo de acción	Proceso
Colonización y adhesión	Una vez que el probiótico se ha adherido al epitelio mejora la integridad de la barrera epitelial intestinal a través de dos mecanismos. En primer lugar, estimula la producción de moco por parte de las células caliciformes, distribuidas por todo el epitelio, y en segundo lugar, mantiene las uniones estrechas las cuales forman una barrera biológica continua que previene la entrada de macromoléculas y bacterias patógenas.
Producción de sustancias antimicrobianas	Una forma para lograr alcanzar un buen estado de salud del individuo es a través de la resistencia otorgada contra la invasión de microorganismos patógenos, que se logra mediante la generación de sustancias antimicrobianas, sideróforos, enzimas bacteriolíticas, ácido láctico, ácido acético y otros ácidos de cadena corta, metabolitos como peróxido de hidrógeno, dióxido de carbono, diacetilo y bacteriocinas que interactúan con las células del sistema inmunológico.
Modulación del sistema inmunológico	Tienen influencia sobre el sistema inmune mejorando la respuesta humoral y controlando el balance entre citocinas pro y antiinflamatorias, así como un aumento en la producción de inmunoglobulinas, aumento de la activación de las células mononucleares y de los linfocitos.

probióticos con aislados bacterianos nativos a escala comercial de las especies de interés será fundamental para el desarrollo de la acuicultura en México (Villami *et al.*, 2014).

Seguridad de las cepas probióticas

Tradicionalmente, los probióticos utilizados en la industria alimentaria se han considerado seguros, pero no hay que olvidar que al ser microorganismos pueden ser responsables de cuatro tipos de efectos secundarios en individuos susceptibles: infecciones sistémicas, actividades metabólicas perjudiciales, estimulación excesiva del sistema inmune y transferencia de genes, sobre todo en este último aspecto hay que hacer énfasis en que los microorganismos fácilmente adquieren plásmidos de resistencia y factores de virulencia, por lo que se requiere más estudios al respecto (Ferreira, 2016).

Con respecto a la seguridad, en Asia y más recientemente en América Latina, se

han notificado cultivos de *Penaeus monodon* con el síndrome de la mancha blanca bacteriana (BWSS), en granjas con uso recurrente de probióticos basados en *Bacillus subtilis*. Las manchas son similares a las presentadas en el síndrome vírico de la mancha blanca (WSS, por sus siglas en inglés), que se propaga rápidamente y causa mortalidades masivas en los cultivos de camarón, lo anterior, es motivo de preocupación porque la mayoría de los productores no pueden distinguir BWSS de WSS. Se aconseja en caso de sospecha, enviar muestras al laboratorio para un diagnóstico confirmatorio. Además, dado que algunos productos de la acuicultura se consumen crudos o a medio cocinar, se ha planteado la cuestión de que si los probióticos residuales pueden causar alguna infección en el consumidor final. Debido a lo anterior, la FAO y la OMS reconocieron la necesidad de crear directrices para un enfoque sistemático para la evaluación de los probióticos a fin de justificar sus funciones benéficas y publico la “Guía para la evaluación de probióticos

en alimentos”, que proporciona directrices sobre la evaluación de las propiedades de salud y nutrición de los probióticos en alimentos y aunque el documento no se centra en la acuicultura, crea un precedente para la realización de estudios para evaluar la seguridad de los probióticos en esta área (FAO, 2012).

El Gobierno Mexicano (2005), resalta la necesidad de prevenir la contaminación de los alimentos, creó dentro del Servicio la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera, que desarrolla y ejecuta esquemas de aplicación voluntaria sobre temas de inocuidad para la parte primaria de la industria, que promueve la aplicación y certificación de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación de los alimentos y en el 2007, se realizaron modificaciones en las leyes de Salud Animal, así como Pesca y Acuicultura, para especificar que los alimentos tienen que tener algún sistema de reducción de riesgo de contaminación y aplicación de buenas prácticas de producción.

Eficacia, Dosis y tiempos de administración

Hoy en día la industria de aditivos probióticos se ha incrementado exponencialmente con la generación de una amplia diversidad de productos comerciales que aseguran ser probióticos, aunque existen dudas sobre su eficiencia y seguridad, sobre todo porque en la mayoría de los casos no hay etiquetado adecuado, no se precisa las cepas que contiene, su densidad celular, las dosis difieren de un producto a otro y los tiempos de administración no son claros. A pesar de que la comisión de expertos de la FAO (2012), ha recomendado incorporar en el etiquetado de alimentos que contienen probióticos los siguientes aspectos: nombre

del género, especie y cepa de acuerdo con la nomenclatura internacionalmente reconocida, número mínimo de viables de la cepa probiótica al final de la vida útil, dosis recomendada y tiempo de administración, efectos beneficiosos que puede proporcionar a la salud y condiciones adecuadas de almacenamiento. Por lo que urge crear la normatividad respectiva que unifique los criterios que deben precisarse en el etiquetado con el fin de que el productor tenga todos los elementos para la elección del probiótico a utilizar (Dash *et al.*, 2014; El-sabagh *et al.*, 2018; Mohammadian *et al.*, 2019).

Impacto al ecosistema

Cuando hablamos de la alimentación de los peces, es sabido que gran parte de este no es ingerido por los organismos ya que solamente entre el 30 y 40 % el alimento es asimilado, lo que implica, en términos prácticos que, si el alimento fue adicionado con probióticos, gran parte de las bacterias administradas se mantengan en el agua de cultivo y el resto en las heces los peces, y de esta manera pueden ser descargadas en los efluentes acuícolas (Wong *et al.*, 2015). Lo que conlleva a un impacto negativo en el ambiente, sobre todo de los cuerpos de agua naturales que pueden ver afectado su aspecto sanitario, con lo que se puede ver comprometida la salud de organismos acuáticos y de la población humana en general. Otra potencial consecuencia es que, si las descargas de la acuicultura tuvieran altas densidades de bacterias probióticas, eventualmente pueden desplazar o disminuir la diversidad del microbiota presente en los ecosistemas impactados (Goncalves *et al.*, 2018). Este escenario ofrece, además de la obvia disminución en la diversidad bacteriana, la posibilidad de la alteración

del ciclo de los nutrientes en esos cuerpos de agua, principalmente el del nitrógeno, debido al dominio de un grupo bacteriano, lo que puede traer efectos negativos para la biodiversidad acuática (Espinoza y Bermudez, 2012). No obstante, la medida de prevención para esta situación sería el tratamiento de los efluentes antes de ser descargado al ambiente (López, 2008).

Impacto en el sector productivo

El sector productivo acuícola es uno de los más afectados por la falta de legislación acuícola, que los deja vulnerables por la adquisición de biotecnologías sin los estudios previos que certifiquen su calidad sobre todo *in situ*, en las zonas productivas y en los ambientes adyacentes. Sin embargo; cabe destacar que los investigadores de diversas instituciones académicas se apegan a las directrices internacionales, como el de la Unión Europea (Zorriehzahra *et al.* (2016). Además, existen reglamentaciones que ofrecen una guía para el desarrollo e implementación de probióticos, como la publicada por la FAO y OMS (2001), aunque está enfocada en seres humanos, se pueden obtener criterios generales. Otro documen-

to importante al respecto es el de la Unión Europea (2002), que integra enfoques para la evaluación de microorganismos usados en la producción de alimentos. Para el año 2003, citaron la actualización de la lista de microorganismos que son considerados como generalmente seguros (GRAS, por sus siglas en inglés).

Para el caso de México, en la Norma Oficial Mexicana NOM-061-ZOO-1999. Las especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal (ganado y no peces) el punto 4.10. señala: Para el caso de aditivos probióticos, elaborados con microorganismos productores de ácido láctico o similares, previo a su aplicación, debe efectuarse su constatación para determinar el género y especie utilizada, así como especificar la concentración de microorganismos viables expresada en Unidades Formadoras de Colonias por mililitro (UFC/ml) o gramo de producto terminado y contar con los certificados de control de calidad, norma actualizada en el año 2002. Pese a la norma antes citada, no hay vigilancia y sanciones para su incumplimiento y no es específica para acuicultura.

Los indicadores y alcances para poder monitorear el problema

Los eventos que ocurren en la naturaleza y aquellos provocados por el ser humano tienen rasgos que nos sirven para identificarlos, primero para determinar su presencia, y establecer su condición, entendiendo esto como la intensidad. Describir los indicadores dentro del marco de la gobernanza ambiental es de particular relevancia, ya que sitúa a la problemática entendida,

bajo el contexto de que todas las actividades humanas tienen un impacto sobre el ambiente (Montoya y Rojas, 2016). Estos indicadores sirven para, en primera instancia facilitar que la actividad se desarrolle y conocer sus efectos sobre los ambientes naturales que impacta como es el caso de la zona costera. Lo anterior, para generar una respuesta correctiva y en el mejor de

los casos, preventiva. Visto desde la definición de la gobernanza, este es uno de sus pilares, ya que utiliza la información que se genera a nivel operativo y retroalimentar otros niveles del sistema de gobierno, es decir, la academia, las empresas y el sector gubernamental (Mazurek, 2009).

Indicadores

En el caso de los posibles efectos del uso de probióticos sobre la población humana y los ecosistemas acuáticos, el indicador será la presencia de la cepa probiótica en el agua del sistema de cultivo, lo que implica determinar cuál es el comportamiento de la bacteria probiótica (abundancia y distribución) en la columna de agua en las diferentes fases de cultivo, en distintos periodos de tiempo y evaluar los efectos en las especies cultivadas considerando los parámetros productivos, de salud y tomando en cuenta también su impacto en los sistemas naturales (Nunes, 2002). Para ello, se pueden considerar las normas internacionales y los documentos generados científicamente. Por ejemplo, la Guía para el manejo de efluentes de la acuicultura a nivel de granja (Nunes, 2002), el cual ofrece información sobre valores permitidos para distintas variables en los efluentes acuícolas, códigos de conductas, buenas prácticas de manejo, entre otras guías generales. El Documento de orientación del reglamento de actividades acuícola de Canadá, en el 2018, donde

se estipula de acuerdo con las regulaciones de aquel país, no solo aspectos del manejo y descarga de los efluentes, sino, todo lo relacionado a la regulación de las actividades acuícolas. Aún con la disponibilidad de esta información es urgente generar una regulación propia que se ajuste a la realidad de la actividad acuícola nacional.

Monitoreo de la funcionalidad de los probióticos, y su comportamiento en cuerpos de agua receptores

De igual forma, será necesario dar seguimiento a la presencia de los probióticos una vez descargados los efluentes, con esto nos referimos, a la abundancia y la densidad con la que se pudieran encontrar en los cuerpos de agua naturales cercanos a las granjas de cultivo. En este sentido, es necesario saber de qué modo la presencia de una cepa probiótica puede modificar la microbiota del agua y suelo de la zona costera lo que implicaría el establecimiento de programas permanentes de monitoreo. Esto último es un elemento importante que señalan la FAO y OMS (2001), respecto a los probióticos para humanos; criterio que se debe retomar en la acuicultura, ya que a pesar de que una cepa bacteriana haya sido probada en condiciones de laboratorio y en sistemas de producción, siempre se requerirá saber cuál es su comportamiento a nivel del ecosistema que impacta.

Lecciones aprendidas

La investigación sobre probióticos en la acuicultura es relativamente reciente en términos de la aplicación de otras biotecnologías, esta empezó de manera importante

hace aproximadamente hace 25 años. Con ello se ha publicado una cantidad importante de artículos científicos, de los cuales la mayoría resaltan los beneficios que este

tipo de microorganismos pueden ofrecer al cultivo de peces y crustáceos, mejorando los aspectos nutricionales, de salud y calidad de agua (Wanka *et al.*, 2018; Cai *et al.*, 2019).

Se han elucidado los mecanismos básicos por los cuales estos microorganismos ejercen efectos benéficos en un hospedero; se sabe que esto depende principalmente de la cepa (FAO y OMS, 2011), también se ha incrementado la idea de que en la acuicultura se utilicen cepas autóctonas (Cross 2002, Vine *et al.*, 2004; Ringø *et al.*, 2010). Normalmente, la dosificación es diaria, en el alimento como vehículo y haciendo una relación entre la densidad y la tasa de alimentación. También se ha determinado que no todas las cepas producen los mismos beneficios en distintos hospederos y en diferentes estadios de desarrollo. Todo esto

demuestra que las cepas bacterianas deben ser evaluadas exhaustivamente antes de colocarles la etiqueta de "probiótico".

Considerando las posibilidades que ofrece la gobernanza, la futura regulación, deberá ser desarrollada tomando en cuenta a cada uno de los actores involucrados en tan importante actividad productiva, con enfoque sostenible. Es decir, no solo buscar el beneficio económico, sino el ambiental, mejorando la producción acuícola en calidad y cantidad. Desde esta perspectiva, la reglamentación sobre el desarrollo y utilización de los probióticos en la acuicultura costera se vislumbra como un verdadero reto, ya que se debe integrar el conocimiento científico disponible y las necesidades de los productores, y los elementos gubernamentales.

Recomendaciones para tomadores de decisiones

Desde el punto de vista de la gobernanza, la toma de decisiones resulta ser la joya de la corona, ya que esto implica la culminación de un esfuerzo conjunto para poder hacer efectivos todos los planteamientos previamente realizados desde los distintos sectores involucrados en este proceso, que trasciende, no solo al sector gubernamental, sino a todos los implicados.

Uno de los actores de la implementación de la gobernanza, son las instituciones de investigación, públicas o privadas, que generan información científica confiable sobre los probióticos para la acuicultura en México. Como ya se había mencionado, y no esta demás recalcarlo, este sector basa su investigación en criterios internacionales, para proteger al ambiente, al ser humano

y a la acuicultura. Por ello, la primera recomendación para los tomadores de decisiones es apoyarse en los investigadores nacionales que desarrollan su labor en este tema. Ya que ellos tienen información de primera mano, no solo de la investigación propiamente dicha, sino también de la información recabada de los productores.

Se propone que de acuerdo con la situación en la que se encuentra la regulación de esta bioetecnología en nuestro país, y a la información generada por la investigación nacional, se inicie por regular la importación. Los criterios que se deben incluir en esta primera regulación deben ser:

- Lugar de origen.
- País de importación.
- Origen de la cepa.

- Empresa o instituto que aisló la cepa.
- Empresa o instituto en donde se hicieron las pruebas.
- Información sobre la cepa.
- Especie y/o especies contenidas.
- Densidad(es) neta(s).
- Condiciones de almacenamiento.
- Tiempo de vida en anaquel, viabilidad.
- Procedimiento para su aplicación.
- Cuidados especiales.
- Pruebas practicadas a las cepas.
- Bioseguridad.
- Condiciones de evaluación.
- Reporte o publicaciones que sustenten las pruebas realizadas.
- Funcionalidad del producto.
- El beneficio que se espera obtener al usar el producto.
- Tiempo estimado en que se deben observar los resultados.
- Métodos para evaluar los beneficios.

Todo esto se plantea como un primer acercamiento a la futura legislación, por lo que tendrán carácter informativo y posteriormente generar un programa de monitoreo ambiental y la consecuente generación de una Norma Oficial específica para el desarrollo, importación, implementación y monitoreo de este tipo de productos.

Literatura citada

- Anónimo, 2010. El camarón, el principal producto acuícola de México. *Panorama Acuicola Magazine*, 16(1): 11-13.
- Ashwell, M., 2001. Functional Foods: A Simple Scheme for Establishing the Scientific Basis for all Claims. *Public Health Nutrition*, 4(3): 859-862.
- Balcázar, J., J. Blas, I. Ruiz, I. Cunningham, D. Vendrell, y J. Múzquiz, 2006. The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary Microbiology*, 114: 173-186.
- Bozoglu, M., V. Ceyhan, H. Cinemre, K. Demiryurek, y K. Osman, 2006. Evaluation of Different Trout Farming Systems and Some Policy Issues in the Black Sea Region, Turkey. *Journal of Applied Sciences*, DOI.6. 10.3923/jas.2006.2882.2888.
- Buschmann, V.A., M.C. Riquelme, G. Hernández, y L.A. Henríquez, 2007. Additional perspectives for ecosystem approaches for aquaculture. In: McVey JP, C-S Lee, PJ O'Byrne (eds). *Aquaculture and ecosystems: An integrated coastal and ocean management approach*: 168-176. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, US.
- Cai, Y., W. Yuan, S. Wang, W. Guo, A. Li, Y. Wu, X. Chen, Z. Ren, y Y. Zhou, 2019. In vitro screening of putative probiotics and their dual beneficial effects: To white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae and to the rearing water. *Aquaculture*, 498: 61-71.
- Casillas, H.R., B.F. Magallón, C.G. Portillo, y O.F. Páez, 2006. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. *Aquaculture*. 258: 289-298
- Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES), 2012. Política nacional de mares y costas de México. Gobierno de la República de México. D. F. 67p.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), 2016. Estadística de acuicultura y pesca relativa a los principales aspectos económicos y sociales. www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca.
- Cross, M.L., 2002. Microbes versus microbes: immune signals generated by probiotic lactobacilli and their role in protection against microbial pathogens. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 34(4): 245-53.
- Dash, G., R.P. Raman, K.P. Prasad, M. Makesh, M.A. Pradeep, y S. Sen, 2014. Evaluation of *Lactobacillus plantarum* as feed supplement on

- host associated microflora, growth, feed efficiency, carcass biochemical composition and immune response of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879). *Aquaculture*, 432: 225-236.
- Del Rio-Salas, R., J. Ruiz, M. De la O-Villanueva, M. Valencia-Moreno, V. Moreno-Rodríguez, A. Gómez-Alvarez, T. Grijalva, H. Mendivil, F. Paz-Moreno, y D. Meza-Figueroa, 2012. Tracing geogenic and anthropogenic sources in urban dusts: insights from lead isotopes. *Atmosphere. Environmental*, 60: 202-210.
- Elsabagh, R., E.M. Mohamed, A. Moustafa, F. Hamza, O. Farrag, y Decamp, 2018. Assessing the impact of *Bacillus* strains mixture probiotic on water quality, growth performance, blood profile and intestinal morphology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 24: 1613-1622.
- Espinosa, P. A., y A.M.C. Bermúdez, 2012. La acuicultura y su impacto al medio ambiente. Estudios Sociales. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 2: 221-232.
- FAO, 2001. Report of a joint FAO/WHO expert consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Cordoba, Argentina. Available from URL: <http://ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/legisl>.
- FAO, 2012. Probióticos en los alimentos. Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación - Estudio FAO Alimentación y Nutrición No 85. 2006.
- FAO, 2013. Fisheries and aquaculture technical paper. On-farm feeding and feed management in aquaculture. N° 583. 80 p.
- Ferreira, J.C., F.R. Penha, L.N. Andrade, J.A. Berchieri, y A.L. Darini, 2016. Evaluation and characterization of plasmids carrying CTX-M genes in a non-clonal population of multidrug-resistant Enterobacteriaceae isolated from poultry in Brazil. *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.*, 85(4): 444-8.
- Flores, J. I. Martínez, y G. P. Dávila, P, 2007. "Puntos críticos en la evaluación del impacto ambiental de la camaronicultura en el pacífico de Nicaragua, durante su proceso productivo" *Universita*, 1 (1); 33-38.
- Franch, A.M., R.P. Redondo, y R. Calvo, 2009. Los alimentos funcionales a la luz de la normativa europea Functional foods in light of the European regulation. *Boletín de Pediatría*, 49(1): 12-34.
- Fuller R., 1989. Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66: 365-378.
- Gatesoupe, F.J., 2000. Uso de probióticos en acuicultura. p. 463-472 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuicola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México.
- Gonçalves, R.A., K. Naehrer, y G.A. Santos, 2018. Occurrence of mycotoxins in commercial aquafeeds in Asia and Europe: a real risk to aquaculture?. *Aquaculture*, 10: 263-280. doi:10.1111/raq.12159.
- Hai, N.V., 2015. The use of probiotics in aquaculture. *Journal Applied Microbiology*, 119(4): 917-935.
- Hosseini, A. A, M.E. Alireza, R. Mohammad, y M. Majid, 2014. Effects of *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*-based probiotic on performance, hematological parameters and blood metabolites in lambs. *Intl. J. Food Nutr. Sci*, 3(4): 8-15.
- Ibrahim, M.D., 2013. Evolution of probiotics in aquatic world: Potential effects, the current status in Egypt and recent perspectives. *Journal of advanced research*, 6(6): 765-791. doi:10.1016/j.jare.2013.12.004.
- International Life Sciences Institute (ILSI), 1992. Conceptos sobre alimentos funcionales. Washington D.C. EUA. 38 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía México (INEGI), 2016. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2016 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/>.
- INE, 2000. Propuesta de estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera de México, SEMARNAT. https://www.ileanaespejel.com/uploads/1/1/3/3/11330338/estrategia_ambiental_para_gestion_integral_de_lazonacos.
- Mártir, M., 2006. A. La acuicultura como estrategia de desarrollo de zonas costeras y rurales de México. *Ra Ximhai*, 2. (3): 769-793.
- Martínez Cruz, P., L.A. Ibáñez, O. A. Monroy Hermsillo, y H.C. Ramírez Saad, 2014. *ISRN Microbiol.* 2012; 2012: 916845. Published online 2012 Oct 16. doi: 10.5402/2012/916845.
- Mazurek, H., 2009. Introducción. Gobernabilidad y gobernanza: el aporte de los territorios y Amé-

- rica Latina. p. 13-29. En: Mazurek, H., (Ed.), Gobernabilidad y gobernanza de los territorios de América Latina. Actes & Mémoires No. 25. Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA), Lima; Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), La Paz; Centro de Estudios Superiores Universitarios (CESU), Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba; Cooperación Regional para los Países Andinos, Lima.
- Merrifield, L. D., A.F. Dimitroglou, T.M. Davies, Simon, R. Baker, J. Børgwald, M. Castex, E. Ringø, 2010. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. *Aquaculture*, 302. DOI:1-18. 10.1016/j.aquaculture.2010.02.007.
- Millanao, A.B., H.M. Barrientos, C.C. Gómez, A. Tomova, A. Buschmann, y H.J. Dölz, 2011. Uso inadecuado y excesivo de antibióticos: Salud pública y salmicultura en Chile. *Rev Med Chile*, 139: 107-18.
- Mohammadian, T., A.U. Jangaran, N. A. Mesbah, M. Shirali. Malekpour, P. Tabandeh. y M.R. 2019. Effect of *Lactobacillus casei* on Innate Immunity Responses and *Aeromonas hydrophila* Resistance in *Shabot, Tor grypus*. Format: Abstract send to Probiotics Antimicrob Proteins. 2019 Jan 12. doi: 10.1007/s12602-018-9510-z.
- Monroy, D.M.C., B.T. Castro, P.J.F. Fernández, R.L. Mayorga, G.H. Herrera, y S.S. Cortés, 2012. Bacteria with Probiotic Capabilities Isolated from the Digestive Tract of the Ornamental Fish *Pterophyllum scalare*. Capítulo 10. p. 231-246. En: Probiotics in animals. INTECH. Croacia.
- Montoya, D., y R. Rojas, 2016. Elementos sobre la gobernanza y la gobernanza ambiental. *Gestión y Ambiente*, 19(2): 302-317.
- Naylor, R.L., R.J. Goldburg, J.H. Primavera, N.M. Kautsky, y M. Troell, 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 45: 1017-1029.
- Nunes, A., 2002. Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarão marinho. *Panor. Aquicult.*, 71: 27-39.
- Ringø, E., S.H. Hoseinifār, K. Ghosh, H.V. Doan, B.R. Beck, y S.K. Song, 2018. Lactic Acid Bacteria in Finfish-An Update. *Front. Microbiol.*, 9:1818.
- Sampedro, A. G., S. Ávila, G. Arredondo, e I. Espejel, 2015. Síntesis cualitativa de la investigación en la zona costera de México: contribuciones al fortalecimiento de la evaluación de impacto ambiental (EIA). *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 7(1): 25-41.
- Rodríguez, M.J., 2015. Probióticos: Del laboratorio al consumidor. *Nutr. Hosp.*, 31(1): 33-47.
- Sanz, Y., y J. Dalmau, 2008. Los probióticos en el marco de la nueva normativa europea que regula los alimentos funcionales. *Acta Pediátrica Española*, 66(1): 27-31.
- SEMARNAT, 2015. Evaluación de instrumentos normativos del sector ambiental. México, D. F.
- Serna, D. G.J.M., 2016. Globalización y gobernanza: las transformaciones del estado y sus implicaciones para el derecho público: contribución para una interpretación del caso de la guardería ABC, México, UNAM-Instituto de Investigaciones Jurídicas. 125 p.
- Sharifuzzaman, S., y B. Austin, 2017. Probiotics for Disease Control in Aquaculture. Diagnosis and Control of Diseases of Fish and Shellfish, First Edition. Edited by Brian Austin and Aweeda Newaj-Fyzul. © 2017 John Wiley & Sons Ltd. Published 2017 by John Wiley & Sons Ltd.
- Tacon, A.G.J., M.R. Hasan, G. Allan, J.A. El-Sayed, S.J. Kaushik, W.K. Ng, V. Suresh, y M.T. Viana, 2010. Aquaculture feeds: addressing the long term sustainability of the sector. Paper Presented at the Global. 6744, USA.
- Unión Europea, 2002. Reglamento. (CE) No 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre aditivos alimentarios. Diario Oficial de la Unión Europea. 154p.
- Váradi, L., 2001. Review of trends in the development of European inland aquaculture linkages with fisheries. *Fisheries Management and Ecology*, 8: 453-462.
- Verschuere, L., G. Rombaut, P. Sorgeloos, y W. Verstraete, 2000. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64: 655-671.
- Villamil, L., C. Reyes, y S.M. . Martínez, 2014. In vivo and in vitro assessment of *Lactobacillus acidophilus* as probiotic for tilapia (*Oreochromis niloticus*, Perciformes:Cichlidae) culture improvement. *Aquaculture Research*, 45. DOI.10.1111/are.12051.
- Vine, N.G., W.D. Leukes, Horst, 2006. Probiotics in marine larviculture. *FEMS Microbiol. Rev.*, 30: 404-427.
- Wanka, K.M., T. Damerau, B. Costas, A. Kruege, C. Schulz, y S. Wuertz, 2018. Isolation and

- characterization of native probiotics for fish farming. *BMC Microbiol*, 18(1):119.
- Wee, W.C., C.H. Mok, N. Romano, M. Ebrahimi, e I. Natrah, 2018. Dietary supplementation use of *Bacillus cereus* as quorum sensing degrader and their effects on growth performance and response of Malaysian giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* juvenile towards *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Nutrition*, 24: 1804-1812.
- Zorriehzahra, J.D., A.M. Somayeh, R. Tiwari, K. Karthik, K.C. Dhama, y C. Lazado, 2016. Probiotics as beneficial microbes in aquaculture: an update in their multiple modes of action: A review. *The Veterinary quarterly*. DOI.36.10.1080/01652176.2016.1172132.

**Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre.
Una Guía para Tomadores de Decisiones**

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones
del Instituto EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche.
Composición, diseño y proceso editorial a cargo de Jorge Gutiérrez Lara
Diseño de la portada Juan M. Matú

ISBN 978-607-8444-58-8

doi 10.26359/epomex.0120