



VERACRUZ, UNA DÉCADA
ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Coordinadores

Adalberto Tejeda Martínez,
Beatriz del Valle Cárdenas,
Carlos M. Welsh Rodríguez,
Carolina A. Ochoa Martínez e
Irving R. Méndez Pérez

*Veracruz, una década
ante el Cambio Climático*

Adalberto Tejeda Martínez, Beatriz del Valle Cárdenas,
Carlos M. Welsh Rodríguez, Carolina A. Ochoa Martínez
e Irving R. Méndez Pérez
Coordinadores

GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Cuitláhuac García Jiménez
Gobernador del Estado

Eric Cisneros Burgos
Secretario de Gobierno

Israel Hernández Roldán
Director General de la Editora de Gobierno

Primera edición digital: 2020

ISBN: 978-607-8489-70-1

Derechos reservados

Editora de Gobierno del Estado de Veracruz

Km 16.5 de la carretera federal Xalapa-Veracruz

C. P. 91639, Emiliano Zapata, Veracruz, México

Agradecimientos

*A Beatriz Torres Beristain, José Rivera Banuet, Mariana Rodríguez Gámez
y Adrián Álvarez Pérez, por sus comentarios y correcciones.*

Índice

Prólogo	9
Adalberto Tejeda Martínez y Beatriz del Valle Cárdenas	
Resumen ejecutivo	13
Introducción	25
Emisiones de gases de efecto invernadero: Insumo básico de una política	35
Carlos Manuel Welsh Rodríguez y Carolina Andrea Ochoa Martínez	
El cambio climático en las costas veracruzanas.	47
Mark Marín Hernández y Gabriela Athié	
Biodiversidad en Veracruz y cambio climático	59
Miguel Equihua Zamora, Arturo Hernández Huerta, Octavio Pérez Maqueo y Griselda Benítez Badillo	
Agua y cambio climático	75
Eric Houbron, Michel Canul Chan, Gloria Inés González López, Abril Rodríguez Guzmán, Elena Rustrián Portilla y Víctor Hugo Buendía Díaz	
El sector agropecuario: causante y mitigante	101
Carlos R. Cerdán Cabrera, Gustavo Ortiz Ceballos, Paulo Cesar Parada y Mario J. Gómez Martínez	

Sector salud en Veracruz y cambio climático	113
Edith Rodríguez Romero, Rosa Aurora Azamar Arizmendi, Olga Lidia Maza Benavides, Fredy Severo Mendoza Palmero y Claudia Alejandra Cárdenas Belmonte	
Ciudades y cambio climático.	129
Irving Rafael Méndez Pérez	
Desastres, hidrometeoros extremos y cambio climático.	139
Ana Cecilia Travieso Bello y Carolina A. Ochoa Martínez	
Protección civil	147
Saúl Miranda Alonso, Ramón Pérez Molina, Carolina Ochoa Martínez y Carlos Welsh Rodríguez	
Educación para el cambio climático: Consideraciones para su abordaje	155
Laura O. Bello Benavides y Gloria Elena Cruz Sánchez	
La economía veracruzana: Una aproximación empírica	169
Rogelio Javier Rendón Hernández	
Nuevo marco jurídico sobre el cambio climático	181
Tania García López	
Ante el cambio climático, justicia climática	195
Ana Cecilia Conde Álvarez	
Reflexión final.	209
Sara Ladrón de Guevara	
Bibliografía	213

Prólogo

Adalberto Tejeda Martínez¹ y Beatriz del Valle Cárdenas²

En 2009, tras realizarse una consulta ciudadana obligada por la normatividad, se oficializó el Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC) como un instrumento de política pública estatal. Durante los tres años previos, cerca de 80 estudiosos –de la Universidad Veracruzana (UV), el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y el INECOL (Instituto de Ecología), principalmente– analizaron los posibles impactos del cambio climático en el medio natural y en los sectores social, económico, político y cultural del estado, gracias a un financiamiento de la Embajada Británica en México y el entonces Instituto Nacional de Ecología (hoy también de Cambio Climático, INECC).

El PVCC tuvo dos efectos centrales: por un lado, que en su proceso de elaboración dentro de la UV y de otras instituciones de investigación del estado se generaron grupos de trabajo que para estas fechas deben sumar más de una centena de investigadores que desarrollan diversas líneas que van desde las causas físicas del fenómeno hasta sus consecuencias ambientales, sociales y económicas. En particular, la UV fundó en 2008 su Programa de Estudios de Cambio Climático (PECCUV), en cuyas iniciativas participan actualmente más de 50 académicos.

El segundo efecto, que Veracruz fue el primer estado en promulgar su Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático, previa incluso de la ley federal, por lo que desde entonces los sucesivos gobiernos estatales –con mayor o menor éxito– han tratado de implementar acciones para enfrentar el cambio climático.

¹ Investigador de la Universidad Veracruzana, entre 2006 y 2009 coordinó la elaboración del Programa Veracruzano ante el Cambio Climático.

² Entre 2010 y 2016, como coordinadora de la Unidad de Cambio Climático del Gobierno del Estado, fue la responsable de operar el Programa Veracruzano ante el Cambio Climático.

Entonces, al contar Veracruz con el marco normativo y la información científica y de planeación –PVCC– para hacer frente al cambio climático, las autoridades estatales se dotaron de herramientas sólidas para aplicar acciones tanto de mitigación como de adaptación al cambio climático. Esta situación dio pie a que en 2012 se instalara el Consejo Veracruzano ante el Cambio Climático, órgano de coordinación entre el gobierno estatal y los gobiernos federal y municipal, el poder legislativo y diferentes sectores de la sociedad, teniendo resultados de impacto, como el contar con agendas sectoriales de cambio climático 2012-2016, en las que la administración pública estatal y cada una de sus dependencias comprometieron acciones en materia de cambio climático.

Así, se logró la conformación de Programas de Acción Climática Municipal para 15 municipios, del periodo 2011-2013: La Antigua, Poza Rica, Tecolutla, Teocelo, Tlilapan y Xalapa; y del periodo 2014-2018: Banderilla, Camerino Z. Mendoza, Córdoba, Jilotepec, Orizaba, Papantla, Río Blanco, Tamiahua, Tuxpan, Xalapa y Xico.

Veracruz ahora cuenta con herramientas para monitorear las acciones de mitigación de gases de efecto invernadero a través de un Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación de las Agendas Sectoriales de Cambio Climático, que se puso en marcha en 2015, y un Sistema de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático.

Como resultado de los avances e iniciativa en materia de cambio climático, la cooperación nacional e internacional vio a la entidad como un gran aliado, y ejemplo de estas acciones son los recursos destinados por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) para dos proyectos en donde Veracruz fue clave: (1) *Adaptación de humedales costeros ante los impactos del cambio climático* (2011-2016), aplicando acciones de adaptación en el Sistema Lagunar de Alvarado y (2) *Conservación de cuencas costeras en el contexto de cambio climático* (2014-2018), que ayudó a la aplicación de acciones en Veracruz, en las cuencas del Tuxpan, de La Antigua, del Jamapa y del Huazuntlán-Temoloapan. Asimismo, en 2018 se inició un nuevo proyecto para la ciudad de Xalapa denominado *Construcción de resiliencia climática en sistemas urbanos a través de la adaptación basada en ecosistemas (AbE) en América Latina y el Caribe*.

La inercia y buena coordinación con los diferentes sectores de la sociedad han permitido que el estado de Veracruz sea beneficiario de cooperación con la Embajada Británica, con la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ por sus siglas en alemán), la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés) y ONU Medio Ambiente, entre otras agencias.

En el año 2010 el PECCUV, junto con las instituciones académicas que apoyaron la elaboración del PVCC, llamó la atención de la clase política al publicar el opúsculo *Cambio climático y cambio de gobierno: compromisos mínimos para el futuro de Veracruz*, lo que fue un acierto, pues el documento resume el PVCC en una lista de acciones fundamentales, y de esa manera facilitó la operación del Programa durante un lustro, al menos. Asimismo, dicho documento se convirtió en una guía para la administración pública estatal, en cuanto a la aplicación de acciones para enfrentar el cambio climático con un sustento científico en cada recomendación.

Ahora, el PECCUV convocó a grupos de trabajo de la propia UV, del INECOL y del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM para elaborar este libro, esperando que sea oportuno al inicio de este nuevo gobierno estatal, pues el PVCC y la Ley Estatal... fueron superados por la realidad, así como por los tratados internacionales y la norma nacional: la Ley General de Cambio Climático, que se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* en julio de 2018, ya se alinea con el Acuerdo de París de la Convención Marco sobre Cambio Climático, aprobado en 2015. Pero además, y máxime, porque todos deberíamos aspirar a acercar a la sociedad veracruzana a la justicia climática, concepto que a fin de cuentas está en la esencia de este libro.

Aunque es cierto que vivimos tiempos de una violencia exacerbada en varios puntos del territorio nacional, sin que Veracruz sea la excepción, también es verdad que esas fracturas dolorosas en el cuerpo social deberán atenderse al tiempo que se tomen medidas contra el deterioro que puede infligir ese padecimiento crónico y degenerativo llamado cambio climático.

El cambio climático es tarea de todos y en ese sentido la coordinación es una gran aliada para avanzar y tener un mayor impacto, pero también como ciudadanos debemos actuar de forma inmediata porque las consecuencias de esta problemática nos han alcanzado. Queda mucho por hacer, pero el compromiso de todos nosotros de modificar nuestros hábitos diarios, en las diferentes actividades, hará una gran diferencia; debemos pasar de la conciencia a la conducta en esta materia. “Nadie es pequeño para hacer la diferencia” (Greta Thunberg).

Resumen ejecutivo

Del contenido de este libro se desprenden 65 propuestas que, de llevarse a cabo, atienden los asuntos más urgentes del cambio climático en el estado de Veracruz. A manera de adelanto fueron presentadas de manera pública el 11 de marzo de 2019, en el opúsculo titulado: *Veracruz ante el cambio climático: acciones mínimas 2019-2024*.³ Las propuestas se dividen en transversales, de adaptación y de mitigación al cambio climático y se enlistan a continuación, enmarcadas en un contexto mínimo.

Transversales

Biodiversidad

En Veracruz existe acceso escaso a información apropiada y oportuna sobre la condición actual de los ecosistemas y los cambios ocasionados por las intervenciones humanas. Esto limita el impacto de las acciones de conservación de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos. Por tanto, una plataforma informática –como la I-Gamma desarrollada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el INECOL– posibilitará atender directamente o facilitar la ejecución o el seguimiento de acciones como:

1. Establecer un sistema de seguimiento continuo e información para la toma de decisiones sobre el cambio climático y la biodiversidad del estado.
2. Orientar políticas de restauración y reforestación, programas de monitoreo, protección forestal y vigilancia sobre cambio de uso del suelo.

³ <https://www.uv.mx/noticias/files/2019/03/VERACRUZ-ANTE-EL-CC-PROPUESTAS-MI%CC%81NIMAS-2019-2024.pdf>

3. Fortalecer, mediante una ley o un programa de acción, la capacidad institucional de los municipios veracruzanos para responder al CC (cambio climático), e identificar áreas de conectividad ambiental y de rehabilitación de ecosistemas degradados.
4. Fortalecer el manejo de las áreas naturales protegidas de carácter estatal, promoviendo la elaboración de programas para su administración, contando con directores o personal encargado de dichos espacios, y fomentando la aplicación de recursos para su adecuada operación. Asimismo, hay que tomar en cuenta que las áreas naturales protegidas son barreras naturales ante fenómenos hidrometeorológicos extremos que se exacerban con el cambio climático.
5. Fortalecer y continuar con la operación del Fondo Ambiental Veracruzano para apoyar proyectos enfocados a hacer frente al cambio climático, como podrían ser los que se desarrollen en áreas naturales protegidas o en zonas prioritarias para la conservación.

Educación

6. Un programa de educación para educación básica y media superior, orientado al desarrollo de competencias que articulen el conocimiento puntual del CC y de su impacto en el estado, con acciones tanto individuales como comunitarias de mitigación y adaptación. Es decir, saber cómo:
 - I. Reducir los gases de efecto invernadero (GEI) a través de prácticas de consumo pertinentes.
 - II. Actuar frente a hidrometeoros, antes, durante y después de sus impactos.
 - III. Desarrollar prácticas de cuidado de la salud ante enfermedades agudizadas por el CC.
 - IV. Desarrollar prácticas socioambientales de adaptación al CC.
 - V. Lograr el cuidado y la recuperación de ecosistemas y reforestación.
7. Programa de formación docente en materia de CC.
8. Programa de estudios sobre CC en instituciones de educación superior (IES). Es necesario que las IES –en el estado de Veracruz y en los institutos de investigación– le otorguen un carácter central a los estudios y a la investigación básica y aplicada sobre el CC, tanto en lo relacionado con la mitigación como con la adaptación.

9. Educación de y comunicación con la población urbana, para lo cual es necesario establecer vínculos entre los gobiernos municipales y las secretarías encargadas de la gestión de estos programas: Secretaría de Protección Civil (SPC), Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente (SEDESMA), Secretaría de Salud del Estado de Veracruz (SESVER) y Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV), principalmente.
10. Educación de y comunicación con la población periurbana, con los apoyos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca (SEDARPA), SPC, CAEV, SEDESMA, SESVER y el gobierno municipal, en especial, poniendo énfasis en el desarrollo de formas de comunicación y cooperación efectivas.
11. Educación de y comunicación con la población rural.
12. Educación de y comunicación con dependencias gubernamentales.
13. Educación de y comunicación con organizaciones civiles y organizaciones no gubernamentales (ONG).
14. Educación de y comunicación con los sectores industrial y empresarial.

Investigación

15. Se debe procurar que desde el Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICyDET) se fomenten la investigación y la innovación buscando la generación de conocimiento socialmente relevante y políticamente pertinente en materia de CC.
16. No debe olvidarse la parte correspondiente a la detección y la vigilancia. Es necesario contar con más y mejores equipos meteorológicos, pues la observación y la información meteorológica de calidad es la fuente principal de cualquier estudio serio y confiable sobre el cambio climático.

Gobernanza

17. Diversos autores y organizaciones sociales impulsan el desarrollo de la teoría y la práctica de la justicia climática, la cual plantea garantizar un trato justo y la ausencia de cualquier tipo de discriminación contra los impactos negativos del CC. Si bien es cierto que tanto en lo individual como en lo colectivo estamos desarrollando nuestra capacidad para responder al CC0020 –por

medio de estrategias de adaptación y mitigación–, las dimensiones de la justicia ambiental, la igualdad de trato en la formulación de políticas e incluso en la misma definición de “grupos vulnerables” a menudo no son establecidas de manera rigurosa. Se buscan, en ese sentido, nuevas formas de gobernanza que impliquen la participación de las comunidades y de la sociedad en general en las estructuras del estado.

18. Se trata entonces de realizar acciones, estrategias y cambios estructurales que permitan la resolución integral de los grandes problemas ambientales, considerando a las comunidades y a la sociedad civil como los más importantes actores transformadores. Sobre esto escribe Vitón (2017: 96), que cita a Klein (2015):

La lucha por la justicia climática aquí, en Estados Unidos, y en todo el mundo, no es solamente una lucha contra la [mayor] crisis ecológica de todos los tiempos, sino que es la lucha por una nueva economía, un nuevo sistema energético, una nueva democracia, una nueva relación con el planeta y entre nosotros, una lucha por la tierra, el agua y la soberanía alimentaria, por los derechos indígenas, por los derechos humanos y por la dignidad de todas las personas. [...] Estamos todos unidos en esta batalla, que no es una batalla solamente por conseguir una reducción en las partes por millón de CO₂ en la atmósfera, sino también por transformar nuestras economías y reconstruir el mundo que queremos hoy.

19. Las decisiones del gobierno en materia de CC deberán basarse en evidencia científica sólida, transparencia, rendición de cuentas, eficiencia presupuestal y “transversalidad ambiental”.
20. En Veracruz es necesario adoptar una nueva ley de CC que incorpore y desarrolle las numerosas facultades que, de acuerdo con la Ley General de Cambio Climático (LGCC), tienen los estados y los municipios en esta materia. Dicho instrumento debe plasmar las tendencias internacionales respecto del principio de responsabilidad común pero diferenciada, así como incorporar las modificaciones de la LGCC emitida en julio de 2018. También debe anexar los esquemas de gobernanza climática que dicta la LGCC, como son la comisión intersecretarial de CC, el consejo de CC y un programa (2019-2024) con su respectiva estrategia.

21. Asimismo, es necesario reasignar el fondo de tal modo que el programa y la estrategia estatales en materia de CC cuenten con fondos etiquetados y conformar una oficina de búsqueda de recursos nacionales o internacionales.

Adaptación

Salud

El PVCC (2009) ya enunciaba algunas acciones que se han iniciado pero que hay que continuar y reforzar:

22. Programas de control de vectores transmisores de enfermedades relacionadas con el CC.
23. Campañas de concientización de riesgos de salud por efectos del CC.
24. Inclusión en el sistema nacional de vigilancia epidemiológica de indicadores del CC.
25. Inventarios biológicos que permitan que los vectores puedan monitorearse.
26. Más investigación sobre distribución, frecuencia y factores de riesgo de enfermedades ante el CC.

De manera adicional se propone:

27. Generar escenarios de CC para calcular el índice de vulnerabilidad futura en el campo de la salud.
28. Alinear los programas de salud existentes con zonas vulnerables, de acuerdo con la exposición a riesgos presente y futura de la región.
29. Introducción del componente de salud en los Planes de Acción Climática Municipal (adaptación).
30. Capacitación para la adaptación al CC en materia de salud a nivel municipal.
31. Fortalecer el grupo de trabajo de CC y salud con la participación de otras instancias y dependencias.
32. Armonizar y ampliar iniciativas sobre “hospitales inteligentes” (seguros, verdes y saludables).

Agricultura

Una de las estrategias para enfrentar el CC es el desarrollo de sistemas agrícolas que demuestren mayor resiliencia. Para ello es necesario romper con el enfoque del monocultivo de los sistemas agrícolas introduciendo estrategias de diversificación e implantación de prácticas agroecológicas. Este hecho permitirá restituir procesos ecológicos naturales como el reciclaje óptimo de nutrientes y la acumulación de materia orgánica, la activación biológica del suelo, los flujos cerrados de energía, la conservación de agua y suelo, así como el balance de las poblaciones de plagas y enemigos naturales. Se trata de procesos clave para incrementar la resistencia y la resiliencia de los agroecosistemas al CC para mejorar su productividad y la capacidad de autosostenimiento.

Asimismo se recomienda:

33. Generar planes regionales de adaptación y mitigación al CC, donde las mejores prácticas de manejo agroecológico, las estrategias de diversificación y la producción agroforestal sean los elementos clave.
34. Propiciar en las entidades del sector acciones de capacitación en temas de vulnerabilidad y adaptación al CC dirigidos a los productores del estado.
35. Propiciar cambios en las reglas de operación que privilegien el establecimiento de sistemas de cultivo con técnicas agroecológicas que mejoren la resiliencia ante los efectos del CC.
36. Mejorar la capacidad de los tomadores de decisiones en el entendimiento del CC y de los mecanismos que permitan adaptarse a este.
37. Establecer redes de monitoreo para evaluar el impacto del CC, en la idea de contar con los insumos locales y regionales que permitan la toma de decisiones; es decir, se necesita un programa de prevención basado en la investigación y el monitoreo de los efectos del CC sobre los sistemas agropecuarios y forestales.
38. Propiciar una mejor organización y capacitación de los productores agropecuarios para que se apropien de los planes de adaptación al CC.
39. Realizar de manera progresiva diagnósticos comunitarios participativos de vulnerabilidad y adaptación al CC.
40. Fomentar estrategias de producción agroecológica analizando casos exitosos llevados a cabo en el país.

41. Definir políticas públicas que enfrenten la pobreza de manera eficiente y efectiva orientadas a fortalecer la agricultura familiar de pequeña escala, que es la que mayor potencial tiene para enfrentar el CC global, con mejoras del suelo, de las fuentes de agua y, en general, del entorno rural.
42. Proponer programas de cambio climático por sectores, por ejemplo el “Programa de café y cambio climático para la región centro del estado de Veracruz”.
43. Retomar casos exitosos de proyectos aplicados en el estado de Veracruz y llevados a cabo por organizaciones de la sociedad civil, con miras a integrar prácticas agroecológicas en el sector cafetalero y en otros cultivos clave del estado.

Hidrología

44. El reto principal consiste en incorporar los efectos del CC en la planeación y gestión de los recursos hídricos. El sector hídrico de Veracruz deberá realizar un enorme y costoso esfuerzo de adaptación al CC, para lo cual es necesario poner en marcha cambios institucionales y legales profundos que impacten en una gestión de los recursos hídricos más eficiente y sustentable.
45. Se espera que se fortifiquen los cuadros de gobernanza y protección civil, al tiempo que se dote a los operadores de equipo vehicular, de búsqueda, rescate y de atención médica en el sitio de la contingencia, así como de nueva tecnología, como drones para la búsqueda, el rescate y la evaluación de una inundación o zona de desastre.
46. Para generar información confiable que permita emitir alertas oportunas con el objetivo de reducir el riesgo por hidrometeoros, se propone instrumentar una zona piloto con sensores de movimiento (acelerómetros e inclinómetros) y transmisión a tiempo actual para monitorear zonas de deslaves.
47. Habilitar un sistema de evaluación de los pronósticos meteorológicos emitidos por la Secretaría de Protección Civil estatal, de preferencia a cargo de un organismo externo, como un centro de investigación estatal.

Costas

Las afectaciones en la zona costera veracruzana ocasionadas por el CC ya se hacen presentes, y una parte de lo que se espera que ocurra en los próximos años se basa en los escenarios globales. Sin embargo, para una mejor adaptación a los próximos impactos se requieren:

48. Estudios puntuales que pueden realizar las instituciones de investigación mediante concurso abierto o invitación del gobierno del estado.
49. Acciones puntuales a partir de un manejo integrado de cuencas, en el entendido de que las acciones que se lleven a cabo en las cuencas alta y media afectan a la cuenca baja. Es importante tomar en cuenta este enfoque y promover este tipo de proyectos.

Economía

50. Para el diseño y la implementación de políticas públicas y económicas eficaces que garanticen el uso racional de los factores productivos, así como la eficiencia económica además de evitar la degradación ambiental, es necesario medir, calcular y estimar puntualmente el costo del CC en Veracruz por regiones y por actividad económica específica, aplicando métodos de evaluación que incorporen el riesgo y la incertidumbre que caracteriza a este fenómeno. De esta manera, se identificarán los problemas generados y las alternativas de solución a los mismos, incluyendo instrumentos económicos y financieros. Por último, es requisito que en este proceso participen activa y coordinadamente el gobierno, las instituciones de educación superior, los centros de investigación, los organismos no gubernamentales y la sociedad en general, todos ellos con un mismo objetivo: reducir los daños provocados por el CC con miras a un mayor desarrollo y bienestar de la población actual y de las generaciones futuras.

Edificaciones y urbes

51. Impulsar la publicación de la reforma al Reglamento de la Ley de Construcciones Públicas y Privadas del Estado de Veracruz, reforma que integra criterios de sustentabilidad para las nuevas edificaciones y toma en cuenta la normatividad que a continuación se menciona.

52. Fomentar el cumplimiento del Código de construcción sostenible para el sector de vivienda (CONAVI, 2010) y de las normas oficiales mexicanas emitidas con el propósito de reducir los consumos de energía para la climatización de los edificios: la NOM-018-ENER-2011 (Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba), y la NOM-020-ENER-2011 (Eficiencia energética en edificaciones), así como las normas técnicas mexicanas de carácter voluntario (NMX-AA-164-SCFI-2013: Edificación sustentable-criterios y requerimientos ambientales mínimos; NMX-AA-171-SCFI-2014: Requisitos y especificaciones de desempeño ambiental de establecimientos de hospedaje). De igual forma, es necesario adecuar a Veracruz la NMX-AA-SCFI-157-2012: Requisitos y especificaciones de sustentabilidad para la selección del sitio, diseño, construcción, operación y abandono de sitios de desarrollos inmobiliarios turísticos en la zona costera de la Península de Yucatán.
53. La atenuación de la isla urbana de calor requiere de una mayor densidad de áreas verdes. La ya mencionada norma NMX-AA-164-SCFI-2013 (Edificación Sustentable...) establece que el porcentaje de áreas libres debe ser 10 % mayor al valor mínimo establecido por la regulación local.
54. En la norma de edificación en las líneas de costa debe propiciarse la ventilación. Esa atenuación de la intensidad de la isla urbana de calor, sobre todo en los entornos urbanos en los que se dificulta la ventilación, tendría un efecto no solo sobre el ahorro energético sino también sobre la disminución de la intensidad de las olas de calor.
55. Promover el uso de sistemas de captación de agua pluvial a nivel residencial y de comercios y servicios, para que la población se vuelva más autónoma en materia de gestión del recurso hídrico.

Mitigación

Atendiendo a la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático, se presentan y discuten algunas áreas de oportunidad de mitigación de emisiones:

56. Promoción y gestión para la sustitución de luminarias antiguas por ahorradoras de nueva generación. De esta manera, se conseguiría reducir emisiones y aumentar la percepción de seguridad entre la población.

57. Uso de tecnologías ahorradoras de consumo de energía en edificios públicos en los tres órdenes de gobierno.
58. Incorporación de los sistemas silvopastoriles a un mecanismo que fomente desde cercas vivas hasta la siembra de árboles forrajeros, lo que tendría un doble efecto: incidir en los beneficios económicos del sector por la venta de leche, novillos y vaquillas, así como por la captura de carbono.
59. En la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU) existe un área de oportunidad en el terreno de los sistemas de recolección, transferencia y disposición final para la mitigación del cambio climático, que tiene que ver con la capacidad de gestión directa de los ayuntamientos. Sin embargo, sin el apoyo de un programa estatal, los efectos están condicionados a la concesión del servicio a empresas privadas. Se propone, entonces, crear un sistema de generación de biocombustible que sea insumo para los transportes municipales y que guarde un vínculo directo con el transporte público de personas concesionado.
60. Es recomendable echar a andar un programa de incentivos fiscales para el sector industrial. Dicho programa debe consistir, en primer lugar, en el registro formal de emisiones por actividad y giro, tal como lo señala la ley federal que lamentablemente no tiene par en el estado. En segundo lugar, debe incluir un sistema de gestión de incentivos fiscales que a las empresas participantes les sea fácil de operar y les permita usar combustibles no convencionales y menos contaminantes, así como participar de la cogeneración y la responsabilidad ambiental. En tercer lugar, debe considerar un programa de coinversión en materia de ciencia y tecnología para que académicos y estudiantes contribuyan a la solución de problemas de eficiencia y reducción de emisiones. Por último, debe instaurar un premio ambiental para aquellas empresas que, además de reducir sus emisiones, logren satisfacer su propia demanda de energía en el marco de una economía circular.
61. Se debe procurar que al menos 50 % de los vehículos del servicio público de pasajeros sean modelos de baja contaminación o emisiones cero. Para alcanzar este objetivo se propone gravar los vehículos de acuerdo con su nivel de emisiones; así, los más contaminantes (más antiguos y de mayor cilindraje) pagarían una mayor cantidad de dinero por concepto de tenencia. Lo anterior se complementaría con la generación de un reordenamiento de rutas y transporte

concertado en los centros urbanos que permita hacerlo más eficiente y que atienda a un mayor volumen poblacional.

62. Es necesario actualizar el inventario de emisiones del estado mediante el apoyo a organismos nacionales, el financiamiento externo y el concurso de instituciones de investigación locales.
63. Es deseable promover el uso de energías renovables, tanto de energía térmica como de energía eléctrica, en el sector residencial y comercial.
64. Es necesario incorporar sistemas de energías renovables en espacios públicos que sirvan de ejemplo a toda la población.
65. Finalmente, se recomienda poner en marcha programas de uso eficiente de la energía y de utilización de energías renovables en el sector educativo del estado de Veracruz, que cumplan dos funciones: autonomía en el uso de energéticos y educación ambiental.

Introducción⁴

El calentamiento global es un proceso creciente. Este hecho se refleja tanto en el aumento de las evidencias científicas como en el consenso, cada vez mayor, al que han llegado quienes estudian dicho fenómeno. El mismo constituye una amenaza para el planeta, aunado a otras amenazas graves, como la pérdida de biodiversidad y de suelo fértil. Desde el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), presentado en 2007, se señaló, con un alto grado de confiabilidad, que el planeta experimenta un calentamiento sin precedentes en la historia de cerca de una décima de grado centígrado por década desde finales de los años cincuenta, para acumular casi un grado en la temperatura media desde la época preindustrial hasta la fecha.

El estado de Veracruz no escapa al cambio climático (CC) que impacta sobre las condiciones socioecológicas y económicas de la población, pues es una de las regiones del país con mayor vulnerabilidad a dicho fenómeno.

El estrés térmico ocasionado por el calentamiento global disminuirá la productividad de los cultivos, lo que a la vez alterará su ciclo fenológico. De igual forma, se incrementará la tendencia a la eutrofización en lagos y embalses. En materia de salud, el calentamiento guarda una estrecha correlación con enfermedades sensibles al clima, como la deshidratación, la insolación, el golpe de calor, las enfermedades transmitidas por vectores, la meningitis, las infecciones respiratorias, las alergias, las enfermedades zoonóticas transmitidas por los alimentos, el cáncer de piel y las enfermedades crónicas, entre otras.

El Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2013) señala que las ciudades son especialmente vulnerables a los efectos del CC. Entre los riesgos destacan la precipitación extrema, las inundaciones continentales y costeras, la sequía y el estrés térmico a causa del aumento de la temperatura y la contaminación del aire, entre otros. Hacia el 2050 se espera

⁴ Esta introducción es una compilación de los conceptos y antecedentes fundamentales tomados de los distintos capítulos de este libro, por lo que en rigor es de autoría colectiva.

un aumento sustancial en la ocurrencia de olas de calor letales en combinación con la isla urbana de calor y la alteración climática generada al interior de las ciudades.

El calentamiento global se atribuye principalmente a los gases de efecto invernadero (GEI) (gases poliatómicos que tienen la capacidad de atrapar la energía calorífica en las capas bajas de la atmósfera, propiciando el calentamiento del planeta) como el vapor de agua, el bióxido de carbono, el óxido de nitrógeno y el metano. La concentración de los tres últimos en la atmósfera terrestre ocurre de manera acelerada desde inicios del siglo XVIII, a raíz de la Revolución Industrial, de tal forma que ha pasado de 280 ppm de CO₂ hace 200 años a 400 ppm a mediados de esta década. Mención aparte merecen los clorofluorocarbonos, que el ser humano empezó a producir en la segunda mitad del siglo XX.

Por otra parte, el crecimiento poblacional acelerado demanda combustibles para el desarrollo de las actividades económicas y del bienestar humano, con la consecuente emisión intensa de GEI.

A partir de la entrada en vigor, en 1994, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), las diferentes instancias que conforman el organismo realizan conferencias anuales. Actualmente, la Convención aglutina a 174 países, incluidos México y la Unión Europea. De las 23 reuniones hasta ahora celebradas destaca la número 21, cuyo Acuerdo de París –aprobado en 2015 con entrada en vigor en noviembre de 2016– es vinculante entre las partes y pretende mantener el incremento de la temperatura media global por debajo de los 2 °C. Este marco internacional, aunado al problema que representan las emisiones de GEI y al impacto del CC en México, resultó en la formulación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), cuya más reciente modificación, en julio de 2018, se alinea a las políticas internacionales sobre los compromisos en materia de acciones de mitigación y adaptación al CC. El estado de Veracruz cuenta, asimismo, con una Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático, formulada en 2010.

De manera paralela a la legislación veracruzana se cuenta con el Programa Veracruzano ante el Cambio Climático, documento que recopila estudios acuciosos acerca del impacto del CC en el medio natural y en los sectores sociales y económicos, principalmente. Hay que señalar, sin embargo, que este Programa data de hace 10 años.

El estado de Veracruz debe proponerse disminuir la vulnerabilidad de su territorio ante el CC a través de políticas de mitigación y de adaptación. La mitigación es la acción de disminuir las concentraciones de GEI, reduciendo su producción o incrementando su captura. La adaptación consiste en medidas y acciones orientadas a reducir la vulnerabilidad ante los efectos potenciales del cambio climático.

Por otra parte, la relación entre el CC y el funcionamiento del sistema económico se manifiesta a través de los costos que el primero genera, incidiendo de manera negativa en el bienestar de la población. Por esta razón, es necesario elaborar políticas públicas y económicas que aminoren el daño. Es ineludible intensificar y precisar dichas políticas, antes de que los costos económicos y ambientales de la inacción lleguen a niveles irreversibles.

Hay que tener en cuenta que el CC no es solo un problema técnico, sino que también es un proceso de cambios atmosféricos y ambientales que debe verse, por sus causas y efectos, como un asunto político y ético. En este sentido es que el Acuerdo de París ha incorporado un concepto que debería ser referente en la acción gubernamental de la sociedad: la búsqueda de la justicia climática. Este documento pretende ser un resumen de las acciones mínimas por desarrollar por el recién iniciado sexenio del gobierno del estado, pero también aspira a ser de utilidad a los otros dos órdenes de gobierno y a la sociedad misma.

Evidencias y efectos en Veracruz

Veracruz es el tercer estado del país con mayor diversidad biológica, después de Chiapas y Oaxaca. Hoy en día se cuenta con un entendimiento razonable de los cambios principales que cabe esperar en cuanto al comportamiento de la biodiversidad en la entidad ante el CC: provocará la extinción de especies, variaciones en su abundancia y alteraciones en la estructura de las comunidades biológicas. Este hecho inducirá la pérdida y degradación del hábitat e irá acompañado de cambios en la distribución de las especies y los biomas. El cambio en la distribución de algunas especies tendrá efectos indirectos, como la dispersión de enfermedades, que de esa manera ampliarán su presencia en la entidad. Se estima que los bosques mesófilos de montaña estarán entre los más afectados. La biodiversidad y su entramado de interacciones en los ecosistemas son el sostén de la vida y proveen bienestar a través de la generación de los servicios que disfruta la gente. La alteración de la biodiversidad y, por lo tanto, la afectación de los ecosistemas modificarán la capacidad de producir estos servicios, con repercusiones que resentirán las poblaciones locales y sus economías.

Entre la fauna silvestre, los anfibios serán los más afectados por el CC. Es de esperarse, asimismo, que la abundancia de muchas otras especies se vea reducida debido a la degradación que presentan los ecosistemas de Veracruz, que ofrecen pocos hábitats disponibles para ser colonizados por especies que prefieren ambientes con alta naturalidad para vivir o dispersarse. Lo anterior podría favorecer condiciones para el establecimiento de algunas especies en zonas

donde antes no se encontraban; desafortunadamente, esto incluye especies consideradas nocivas para el ser humano, como algunos insectos transmisores de enfermedades.

Otros efectos del CC previstos para el estado son las alteraciones en los fenómenos hidrometeorológicos (sequías, lluvias extremas y regímenes térmico y de la humedad del aire y el suelo hasta ahora poco comunes), que traerán consecuencias sobre la biodiversidad, la agricultura, las pesquerías, el nivel del mar, la salud humana y otros. A ello hay que sumar las condiciones de pobreza y marginación de un alto porcentaje de la población.

Actualmente, en Veracruz se tiene menos precipitación, en promedio, que hace dos décadas. En las montañas, sin embargo, llueve más y ocurren tormentas de menor duración, con fuertes escurrimientos que arrastran el suelo fértil produciendo ríos de lodo y desprotegiendo el suelo en la cuenca alta, mientras que en la cuenca baja se registran sequías más acentuadas y frecuentes. Los frentes fríos y las ondas de calor son más pronunciados y de mayor duración. Por primera vez en la historia del estado, en 2013 el gobierno federal emitió una declaratoria de desastre natural para 13 municipios por la ocurrencia de movimiento de laderas, ya que los daños estatales por esta causa se incrementaron casi cinco veces respecto del año anterior. Actualmente, se tienen cuantificadas a 1 400 familias en zonas de riesgo que deberían ser reubicadas.

En el litoral veracruzano se ha registrado un aumento del nivel del mar de unos nueve centímetros en 50 años. Una consecuencia directa de este hecho es la pérdida de playa, que ha motivado demandas de apoyo para vivienda y para el sector restaurantero y hotelero.

Los escenarios del CC en Veracruz estiman, para el 2050, aumentos de temperatura media de 2 °C y disminución de la precipitación de alrededor de 5 %, pero con intensificaciones en las épocas de lluvias, es decir, que se exacerbarán el estiaje y la intensidad de las inundaciones.

Más cercana en el tiempo, para la década del 2030 el incremento térmico esperado es de entre 1.5 °C y 2 °C. ¿Qué pasará con la salud de la población? ¿Cómo se verá afectado el sistema de salud, toda vez que en el presente no tiene capacidad de atención de las principales enfermedades, además de que su presupuesto no está proyectado para atender el exacerbamiento de las enfermedades sensibles al clima?

Hasta 2013 en el estado solo había dengue clásico y forma hemorrágica. En 2014 se presentaron casos de fiebre chikungunya, y en 2016 fiebre por virus de Zika. Las enfermedades diarreicas y las infecciones respiratorias agudas siguen siendo las principales causas de morbilidad, y últimamente, por temperaturas extremas, se hizo presente el “golpe de calor”. Las costas del Golfo de México, cuando menos 20 días al año, están expuestas a ondas de calor que provocan fallecimientos de ancianos o niños por padecimientos respiratorios o

cardiovasculares. El Banco Mundial estima que hacia el 2050 alrededor de 1.7 millones de mexicanos se desplazarán de las costas del Golfo de México y del Pacífico hacia la Meseta Central.

Cierto es que en Veracruz el CC y la vulnerabilidad en materia de salud ya fueron incluidos en las políticas públicas: hay un Programa de Cambio Climático de la Dirección de Protección contra Riesgos Sanitarios en SESVER12, una Agenda del INECOL frente a IPCC-2013 y COP-21 201513, y las agendas sectoriales del CC 2018 de la SEDEMA (Secretaría de Medio Ambiente), entre otros. Pero es posible hacer más.

Al calentamiento asociado al CC global hay que adicionar el incremento térmico provocado por la isla urbana de calor (IUC). Hacia 1980, la intensidad máxima de la IUC de la ciudad de Xalapa era de 6 °C, mientras que en el puerto de Veracruz llegaba a los 3 °C. Ocho años después, Xalapa alcanzaba los 7 °C como intensidad máxima. Con mediciones de 2012, en Coatzacoalcos se encontró que el centro de la ciudad puede alcanzar, por las tardes, hasta 7 °C más que la línea de costa y la orilla tierra adentro, mientras que, en la ciudad de Veracruz, con mediciones de 2014, se detectó una intensidad máxima de 4 °C. En promedio, se espera un incremento térmico por urbanización de 1 °C en toda la extensión de las zonas urbanas veracruzanas de más de 200 000 habitantes, adicionales a los cerca de 2 °C promedios globales esperados hacia el segundo cuarto de este siglo.

Ante un escenario de calentamiento global de 2 °C más IUC, las ciudades de Veracruz y Coatzacoalcos, por ejemplo, incrementarán en más de 200 kWh su consumo eléctrico por habitante ante la necesidad de contar con sistemas artificiales de refrigeración.

El CC puede tener una serie de efectos de índole no solo ambiental sino también económico importante, debido a la vulnerabilidad del estado que deriva de su situación geográfica, la extensión de su litoral, la distribución de los asentamientos humanos (tanto urbanos como rurales) en zonas de riesgo, la superficie con posibilidad de inundaciones, la extensión de tierras boscosas, tipo y clase de cultivos, así como la población ocupada en los sectores de actividad económica que reciben los impactos del CC.

Los costos económicos del CC se pueden identificar por sector de actividad económica, aunque para su estimación puntual es necesario tener presente la limitación que representa el grado de incertidumbre existente respecto de los cambios de clima y la presencia de eventos naturales extremos no predecibles (Tabla 1).

Tabla 1. Impactos del cambio climático en sectores específicos

Sector	Impacto	Costos
Hidrología	Disminución de recursos hidrológicos por la reducción de escurrimientos de recarga de fuentes de agua subterránea. Disminución de agua utilizable. Sobreexplotación de acuíferos.	Riesgo en agricultura, ganadería, silvicultura, inestabilidad de ecosistemas, daño a la vida humana (enfermedades por falta de agua).
Agricultura	Sector de mayor impacto por sequía. Cambios en los ciclos de cultivos y cosechas. Cambios en la producción. Disminución en la productividad. Reducción en el rendimiento de las cosechas. Cambios en los precios. Importación de alimentos. Problema de balanza de pagos. Afectaciones a la población más pobre, que no subsiste con la producción generada.	Desplazamiento por productos importados. Desempleo. Mayor pobreza. Insuficiencia alimentaria o crisis alimentaria. Empeoramiento de las condiciones de vida de la población rural o de bajos ingresos.
Sector forestal	(A causa de agua-sequía y temperatura) Disminución de cobertura boscosa. “Movilidad de bosques” tropicales, húmedos y subhúmedos.	Incalculable.
Sector industrial y energético	Aumento en los costos de producción por escasez de agua. Impacto heterogéneo según uso de agua, proceso de enfriamiento y calefacción. Disminución del PIB generado. Impactos acumulativos para la agroindustria.	Aumento de precios de bienes y servicios de consumo final. Disminución de la tasa de crecimiento. Desempleo en el sector.
Minería	Aumento de la vulnerabilidad, acrecentando los problemas existentes.	Disminución de la producción.
Industria pesada	Efectos heterogéneos dependiendo el uso de agua en el proceso de producción. Vulnerabilidad a temperaturas altas.	Disminución de la producción. Incremento en los costos de producción. Aumento en los precios de venta.
Producción de combustibles fósiles	Aumento de los costos de extracción. Escasez de agua y competencia por ella entre la agricultura, la población urbana y el uso industrial.	Aumento de los costos de producción de las plataformas marítimas.
Generación eléctrica	Pérdida de producción.	Aumento en los costos de producción y precios finales.

Impacto macroeconómico y distributivo	Impactos en la capacidad productiva e infraestructura. Disminución del crecimiento económico. Desequilibrio en la balanza comercial (déficit). Aumento de deuda pública en los tres niveles de gobierno. Impacto regresivo en la distribución del ingreso. Los pobres pierden mayor bienestar que los ricos.	Aumento del nivel de pobreza. Entorpecimiento del desarrollo económico.
Salud humana	Aumento en la prevalencia de enfermedades como dengue y malaria, entre otras. Aumento de la mortalidad por desnutrición y estrés térmico.	Epidemias causadas por falta de agua. Mayor tasa de mortalidad por enfermedades asociadas a la sequía y/o los desastres naturales. Aumento en los costos de atención médica y hospitalaria.
Biodiversidad y ecosistemas montañosos, acuáticos y costeros	Pérdida física de biodiversidad esperada. Aumento en el nivel del mar. Incremento del peligro de inundaciones, huracanes...	Extinción de especies. Daños ecológicos irreversibles. Disminución de actividades relacionadas con el ecoturismo.

Fuente: Elaboración propia a partir de los textos contenidos en este libro.

El CC es un catalizador de los problemas agropecuarios del estado de Veracruz y debe ser atendido mediante soluciones integrales que trasciendan el enfoque tecnocrático. La mayoría de los sistemas de producción agrícolas y pecuarios de la entidad presentan alta vulnerabilidad ante los impactos del CC porque están basados en el monocultivo y la ganadería extensiva. Una de las estrategias propuestas para enfrentar el CC incluye el cambio del enfoque del monocultivo de los sistemas agrícolas y ganaderos introduciendo estrategias de diversificación e implantación de prácticas agroecológicas como procesos clave para incrementar la resistencia y la resiliencia de los sistemas agropecuarios al CC, así como para mejorar su productividad y capacidad de autosostenimiento.

Los problemas de la producción agropecuaria trascienden los aspectos técnico-ambientales porque –como ya se dijo– se vinculan estrechamente con factores económicos, sociales, históricos e institucionales. Algunos de estos factores son la falta de oportunidades para acceder al financiamiento de la producción, la descapitalización del sector productivo agropecuario, la insuficiente asistencia técnica, el bajo nivel de adopción de tecnología, el escaso apoyo a la investigación agropecuaria, la atomización de la tierra, la falta de canales de comercialización, la no integración de los eslabones de la cadena productiva, el desarrollo

insuficiente de la infraestructura rural relacionada con la producción y la transformación de los productos agropecuarios, la alta migración de la población rural, la inseguridad, el envejecimiento y la feminización del medio rural, así como la baja rentabilidad de la actividad agropecuaria. De conjunto, todos estos factores se traducen en baja productividad y pobreza extrema, sobre todo entre la población asentada en las regiones montañosas del estado con altos índices de marginación.

Se estima que existen 3 600 000 hectáreas dedicadas a la ganadería extensiva, es decir, más de la mitad de la superficie del estado. Veracruz es el primer estado productor de ganado vacuno: en 2017 se obtuvo un total de 252 402 toneladas de carne (12.5 % del total nacional). Además, el estado produce 11.7 % de la carne porcina a nivel nacional. La ganadería veracruzana es una fuente importante de GEI y a la vez es vulnerable al CC, a través de hidrometeoros extremos como ondas de calor, sequías e inundaciones.

* * *

La Convención Marco sobre el Cambio Climático de 2015 o Acuerdo de París descansa en el principio de la responsabilidad común pero diferenciada. De acuerdo con este principio, no todos tenemos el mismo nivel de responsabilidad en materia ambiental, lo que se traduce en obligaciones diferenciadas. Dicho principio se ha incluido en la Ley General de Cambio Climático –tras la reforma de 2018– como uno de los principios de la política nacional en materia de CC.

Las reformas a la Ley General de Cambio Climático de 2018 incorporan los compromisos adquiridos por México en virtud del Acuerdo de París, y establecen la obligatoriedad de crear un mercado de certificados de emisión negociables, además de la posibilidad de que estos certificados se compren y vendan en otros países.

La Ley Número 878 Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Veracruz se expidió en 2010, dos años antes de la Ley General de Cambio Climático y cinco años antes de la firma del Acuerdo de París; razón por la cual no se basa en dichos ordenamientos jurídicos. La distribución de competencias prevista, tanto para el estado como para los municipios, no concuerda con la contenida en la LGCC, y aunque hace mucho énfasis en la coordinación de acciones, en la participación pública y en la información –cuestiones también previstas en la LGCC y en el Acuerdo de París–, se aleja de forma considerable de estos ordenamientos y no descansa en el principio de responsabilidad común pero diferenciada.

Por otra parte, en Veracruz se han llevado a cabo tres inventarios de los GEI. Los dos primeros se realizaron bajo la coordinación de la Universidad Veracruzana en otros tantos

periodos (2000-2004 y 2004-2008), ambos con metodología del IPCC a partir de información pública tomada de fuentes oficiales. Existe un tercer inventario realizado por una consultora ambiental, que no fue publicado de manera autorizada por la SEDEMA.

En el primer inventario las emisiones estimadas en equivalentes de bióxido de carbono representaron, en 2004, cerca de 3.5 % del total nacional, y provinieron de la generación de energía, la agricultura, la ganadería y los desechos. Considerando además al sector industrial presente en el 2000 –ya que no se cuenta con datos para todo el periodo–, se tiene que la contribución es de 4.3 %.

Emisiones de gases de efecto invernadero: Insumo básico de una política

Carlos Manuel Welsh Rodríguez y Carolina Andrea Ochoa Martínez
Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana
cwelsh@uv.mx, caochoa@uv.mx

Resumen

El calentamiento global es atribuido a los gases de efecto invernadero, debido principalmente al crecimiento poblacional acelerado, puesto que incrementa la demanda de combustibles para el desarrollo de las actividades del sector económico y del bienestar humano. Así, en las últimas décadas el estado de Veracruz ha experimentado grandes transformaciones: desde un crecimiento demográfico acelerado hasta la enorme pérdida de suelo de carácter forestal. Todas estas tienen relación directa con las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales son responsables del calentamiento climático de origen antropogénico y del cambio climático global. Veracruz cuenta con al menos tres inventarios de emisiones (solo dos de ellos publicados) donde se señala que las emisiones estimadas en equivalentes de bióxido de carbono (22.8 Gg) representaron para 2004 cerca de 3.5 % del total nacional reportado en el inventario nacional.

Antecedentes

El crecimiento poblacional acelerado demanda combustibles para el desarrollo de las actividades del sector económico y del bienestar humano. Cosas tan comunes como el uso de refrigeradores domésticos, aire acondicionado, transporte público y privado, transporte de

mercancías, uso de computadoras, iluminación, entre muchas otras, impactan directamente en el producto interno bruto y en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El discurso aborda dos caminos para el estudio, la atención y gestión del cambio climático: la adaptación y la mitigación. Esta última es la que busca establecer una estructuración estándar, con una metodología consensuada desde el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) para contar con la posibilidad de referir resultados comparables entre países y regiones, que además sirvan de base para establecer metas de control de emisiones.

A continuación, se realiza un breve análisis de las emisiones de GEI para Veracruz, sin entrar en los detalles del proceso, pero sí dejando una reflexión de las áreas de oportunidad y de las necesidades de dar continuidad a un esfuerzo para comunicar la responsabilidad del estado en términos de la política internacional, dada la postura de México y el Acuerdo de París. El presente ensayo muestra de manera simple el método para estimar las emisiones de GEI, así como los resultados del primer y segundo inventario de GEI 2004-2008, con un análisis básico de resultados. También presenta el inventario de GEI 2010 de la Secretaría de Medio Ambiente de Veracruz (SEDEMA). Por último, se exponen, a manera de discusión, las áreas de oportunidad y proyectos viables en el ámbito de las emisiones de GEI.

Gases de Efecto Invernadero

El calentamiento global (CC) es atribuido a los gases de efecto invernadero, aquellos gases poliatómicos que tienen la capacidad de atrapar la energía en las capas bajas de la atmósfera, propiciando un incremento en la temperatura promedio del planeta y que tienen una relación con diversos fenómenos que son descritos en otros apartados de este documento. El incremento de las concentraciones de diversos gases en la atmósfera (como el bióxido de carbono, óxido de nitrógeno, vapor de agua y el metano) intensifican el efecto invernadero.

El bióxido de carbono (CO₂) es emitido a la atmósfera principalmente cuando se queman combustibles fósiles en la realización de diferentes actividades humanas, tales como la generación de electricidad, la producción de vapor para procesos industriales, la combustión en automotores y hasta la cocción de alimentos en los hogares, entre otros. Una parte de este CO₂ es capturado de manera natural por los bosques durante el crecimiento de la biomasa y por los océanos.

Entre los factores que estimulan este proceso de emisión de gases está el rápido crecimiento industrial, el de las zonas urbanas, así como el aumento de vehículos para transporte de personas y mercancías. Además, si parte de los sistemas naturales de captura de carbono ya no los hacen con la misma eficacia que en el pasado, el sistema sufre un efecto de desbalance provocando un proceso de desequilibrio mayor. Por ejemplo: el aumento de la deforestación y la pérdida de suelo ocasionaron que las concentraciones de CO₂ en la atmósfera se incrementaran drásticamente a partir de la segunda mitad del siglo XX.

Los acuerdos globales para la reducción de emisiones surgen ante las graves consecuencias que están asociadas al aumento global de la temperatura. Se ha manifestado una genuina necesidad de reducir la emisión de los GEI y su impacto adverso en el clima. Para ello, se han realizado diversas convenciones mundiales (Río de Janeiro, Kyoto, París), donde algunos países han establecido compromisos políticos para reducir, estabilizar y, de ser posible, frenar dichas emisiones de gases. La evaluación de esos acuerdos internacionales no es tema discutido en el ensayo, pero merece una reflexión profunda por sus implicaciones en el crecimiento económico, la política ambiental y, por supuesto, el bienestar de la población junto al estado de los ecosistemas.

Así, las medidas de mitigación surgen como respuesta a los efectos que se prevé que el cambio climático global pudiera tener, tanto sobre el ser humano y sus actividades, como sobre el medio ambiente. Es por ello que resulta necesario un instrumento básico, comparable, riguroso y de fácil comunicación para saber la contribución de un municipio, estado, región o país al cambio climático global a partir de sus emisiones de GEI. Sin embargo, la misma política y el marco legal no exigen contar con un instrumento base para estructurar una política ambiental de largo aliento con base en los GEI.

La creación y desarrollo de un inventario de emisiones que identifique y cuantifique las principales fuentes y sumideros de GEI de un país, e inclusive de una región, es básico para cualquier estudio sobre cambio climático, así como para poder llevar a cabo programas políticos específicos que permitan conservar y mejorar la calidad del medio ambiente atmosférico y, quizás, incorporarse a mecanismos internacionales como el del mercado de emisiones.

Inventarios de Emisiones de GEI

El IPCC cuenta con un proceso metodológico riguroso y efectivo que hace viable la comparación entre inventarios, ya sea por categoría o por sector. Según el IPCC (1996a,

1996b, 1996c) la metodología para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero puede dividirse en tres niveles, de acuerdo con el detalle de datos que se utilicen. El nivel 1 se define como “la metodología de los factores de emisión medios basados en la producción”. El nivel 2 es el llamado “método de balance de masas”. La diferencia entre uno y otro es que, en el segundo, se desarrolla con mayor detalle el inventario de emisiones para los gases distintos del CO₂, pues se cuenta con información tal como el tipo de tecnología de combustión usada, y se conocen los factores de emisión específicos del país por analizar. El nivel 3 es “el método de evaluaciones rigurosas de fuentes específicas”. El proceso metodológico es el siguiente:

- Selección de fuentes de información.
- Compilación de datos.
 - Recolección.
 - Captura.
 - Registro.
- Homologación de datos a la metodología IPCC.
- Aplicación de metodología.
 - Captura.
 - Estimaciones.
- Presentación de resultados.
 - Citas y referencias.
- Manejo de documentos maestros.

México cuenta con inventarios nacionales de emisiones de GEI constituidos bajo un estricto control de calidad, siguiendo las premisas del IPCC. Aunque si bien es cierto hay un ligero cambio en los factores de emisión asociados a los acuerdos internacionales para la generación de factores de emisión, permiten contar con una serie larga para cumplir con lo establecido en el marco institucional internacional. De esta manera, se cuenta con los inventarios de 1990 a 2002 y de 2005 a 2015, publicados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que incluyen los GEI directos: bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, además de los GEI indirectos (que contribuyen a la formación atmosférica de ozono): monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles no-metano.⁵

⁵ <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

Para el estado de Veracruz se han desarrollado tres inventarios de GEI. El primero y el segundo bajo la coordinación de la Universidad Veracruzana en dos periodos (2000-2004 y 2004-2008), conforme con la metodología del IPCC, siguiendo la norma para el cálculo de emisiones por sector y estimando la incertidumbre, usando como base la información pública de fuentes oficiales.

Es conveniente señalar dos situaciones: (1) el primer inventario de GEI de Veracruz formó parte de los estudios para la elaboración del Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC) financiado por la Embajada Británica, en el que participaron académicos de diversas instituciones, pero fue el único estudio utilizado en el diseño y construcción del Plan Veracruzano de Desarrollo citado expresamente en el documento. Además de ser la base para el diseño de la política de reducción de emisiones y mitigación en la Ley de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático de Veracruz; (2) el segundo inventario sirvió para dar continuidad al trabajo, ya que fue utilizado para el diseño de la estrategia de reducción de emisiones y calidad del aire en Veracruz, y sirvió para la gestación del programa PROAIRE en la SEDEMA. Ambos inventarios fueron validados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de la SEMARNAT.

Resultados

Del primer inventario se desprenden resultados que son reflejo de la actividad económica en Veracruz. Las emisiones estimadas en equivalentes de CO₂ representaron para 2004 cerca de 3.5 % del total nacional reportado en el inventario nacional, y provienen de la generación de energía, la agricultura, la ganadería y desechos (otros sectores no fueron estimados por falta de datos o de calidad de los mismos, p. e. uso de suelo). De igual forma, considerando el sector de la industria en el año 2000 (ya que no se cuentan con datos para todo el periodo) se tiene que la contribución fue del 4.3 %. Comparando solo los sectores analizados, estos representan 8.9 % con los sectores correspondientes del nacional. Es importante mencionar que no fue posible contar con información validada para el control de calidad que demanda un inventario de acuerdo con lo que establece el IPCC, pero se debe estimar que cuanto más se intente desagregar por sectores, más complicada es la tarea de que sea una fuente confiable de datos.

De acuerdo con los datos disponibles, las emisiones de GEI en Veracruz, entre los años 1990-2005 han crecido de manera exponencial. El aumento por sector ha sido entre

180 % y 400 % en función de los GEI de que se trate (GEV, 2009). Las emisiones estimadas provienen en su mayoría de la generación de energía, la agricultura, la ganadería, desechos y parcialmente del sector industrial. Por otra parte, debe resaltarse que, dentro del balance nacional de energía del 2005, se afirma que la región sur-sureste de México concentra la mayor parte de la energía primaria (90.5 %), mientras que a los procesos de transformación les corresponde 61 %. Veracruz contribuye con cerca del 20 % a la generación nacional de energía eléctrica, principalmente a partir de combustibles fósiles, datos del balance nacional de energía (Tabla 1).

De acuerdo con Welsh *et al.* (2012) en promedio durante el periodo 2000-2008 en Veracruz, por disposición de residuos sólidos, producción agropecuaria, cambio de uso de suelo, consumo de combustibles fósiles y producción de petróleo y gas natural, de manera anual se generaron 44 736 Gg de CO₂ equivalente. Los años 2001 y 2008 fueron en los que se produjeron menores y mayores emisiones de CO₂ equivalente, con 39 427 Gg (11.56 % del total nacional reportado) y 5 1978 Gg (13 % del total nacional reportado) respectivamente.

Tabla 1. Emisiones de GEI totales, en equivalentes de CO₂, provenientes de los tres sectores de estudio

Emisiones de GEI totales por sector (MT de CO ₂)	Año				
	2000	2001	2002	2003	2004
Eléctrico	12.84	12.62	14.06	12.82	13.77
Petrolero	1.99	1.86	1.99	2.43	3.44
Agropecuario	4.67	4.76	4.80	4.73	4.83
Idustria	3.68	ND	ND	ND	3.45
Desechos	1.40	1.58	1.60	1.73	1.85
Emisiones totales	24.6	20.82	22.47	21.72	27.35
Nota: ND= No datos disponibles.					
Nota: Para el sector industrial se tomaron datos de SEMARNAT.					
Fuente: Elaboración propia con datos de Gobierno del Estado de Veracruz, 2009.					

La información que se deriva de un inventario de GEI es parte del cumplimiento de los objetivos establecidos en la ley, pero sobre todo en la denominada Estrategia Estatal y en las Agendas Sectoriales de Cambio Climático, donde se deberán fijar metas y objetivos específicos de mitigación.

Cabe señalar que se tiene conocimiento de algunos otros trabajos referentes a las emisiones de GEI en Veracruz, tales como: *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2010* de la SEDEMA y el *Programa de Gestión para mejorar la calidad del aire en el Estado de*

Veracruz de Ignacio de la Llave. Los cuales no han sido considerados como referentes puesto que el primero no ha sido publicado y ambos trabajos no cuentan con el aval del INECC.

En el artículo 7 de la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático (GEV, 2016) se dice que en materia de mitigación de GEI, deberán considerarse las directrices siguientes:

- I. La preservación y aumento de sumideros de carbono:
 - a) Alcanzar una tasa neta de deforestación cero;
 - b) Reconvertir las tierras agropecuarias degradadas a sistemas agroforestales de manejo sustentable, de conservación o para la producción de bioenergéticos;
 - c) Mejorar la cobertura vegetal en todos los terrenos ganaderos;
 - d) Incorporar los ecosistemas forestales a esquemas de pago de servicios ambientales, áreas naturales protegidas, unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre o de manejo forestal;
 - e) Fortalecer la infraestructura para el combate de incendios forestales;
 - f) Impulsar la certificación de los aprovechamientos forestales;
- II. En centros urbanos de más de cincuenta mil habitantes, la sistematización del manejo de residuos sólidos a fin de que no generen emisiones de metano;
- III. En todos los centros urbanos, las unidades de transporte público deberán cumplir los estándares de emisión, sujetándose a los programas de verificación vehicular o los concesionarios podrán optar por otros sistemas de transporte colectivo más eficientes;
- IV. El Estado, conforme a las normas federales de la materia, procurará la generación de energía eléctrica para sus instalaciones, con la utilización de fuentes no contaminantes, como el viento, la luz solar, la biomasa, el oleaje marino (GEV, 2016: 3)

Atendiendo la norma se presentan y discuten algunas áreas de oportunidad. Si bien es cierto que para justificar recomendaciones existen métodos que hacen viable la toma de decisiones, como costo-beneficio, en el presente ensayo se hace un listado basado en las experiencias de los planes estatales de acción climática existentes en el país, articulados bajo la normativa y las competencias en la materia que otorgan la ley:

- a) Promoción y gestión para sustitución de luminarias:
La tecnología en el área de iluminación ha cambiado en los últimos 10 años, cada día existen más opciones en el mercado que generan bajo impacto ambiental y un significativo ahorro económico, por ejemplo la tecnología led. En el mundo, desde la escala local, ciudades como Londres y Nueva York han transitado a esta tecnología por razones tales como el ahorro en el consumo de energía, la reducción de emisiones de GEI así como el aumento en la percepción de seguridad (ciudades con mayor iluminación son más seguras) y lo han realizado mediante un acuerdo entre ayuntamiento y Estado, dadas las competencias legales en la materia de alumbrado.
- b) Uso de tecnologías ahorradoras en edificios públicos:
El sector público gubernamental, debido a sus múltiples actividades y desempeño de funciones, utiliza y demanda una gran cantidad de energía y combustibles fósiles, en el caso del transporte, que solo se reportan por medio de las facturas del consumo eléctrico y de combustible, respectivamente. Por ello, es necesario demandar que los edificios del sector público transiten a un modelo certificado. Si bien es cierto que es un proceso que puede resultar largo y complejo, en el marco de un programa de responsabilidad ambiental y corporativa significará ahorros sustanciales, además de representar un modelo no explorado en el país, puesto que permitiría a los tres niveles de gobierno tener una meta común para incidir en la reducción de emisiones de GEI. De este modo también se transitará a un esquema de responsabilidad ambiental del Estado a los ayuntamientos, que tendrá beneficios en los gastos de operación de cada entidad y organismo.
- c) Sistemas silvopastoriles:
La ganadería extensiva en Veracruz ha incrementado en los últimos años. La incorporación de esta actividad a través de sistemas silvopastoriles es para mejorar la productividad del sector y a la vez reducir las presiones sobre los ecosistemas del estado. Los sistemas silvopastoriles tienen características muy diversas y han sido empleados en Veracruz con otros fines. Se trata ahora de incorporarlos a un mecanismo intersecretarial mediante el uso e implementación que va desde cercas vivas hasta la siembra de árboles forrajeros, que permitan incorporar especies forestales como alimento forrajero para el ganado. Esto tendrá un doble efecto: incidir en los beneficios económicos del sector por la venta de leche, novillos y vaquillas, así como por la captura de carbono. Es

importante destacar que estos sistemas representan mayores ganancias netas que la ganadería tradicional.

d) Gestión integral de residuos sólidos urbanos (RSU):

La gestión de RSU, recolección, transferencia y disposición final es una competencia municipal que es vista como un tema estrictamente ambiental, sin embargo, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016) los costos totales por degradación ascienden a 0.3 % del PIB (Producto Interno Bruto). Por lo tanto, la necesidad de atender este programa entre el Estado y los municipios es algo urgente e impostergable; los efectos sobre el medioambiente que inciden en el deterioro de la calidad ambiental y los efectos sobre la salud humana son graves y ambos tienen asociados costos económicos. Es verdad que existe un área de oportunidad en sistemas de recolección, transferencia y disposición final para la mitigación del cambio climático y que tiene que ver con la capacidad de gestión directa de los ayuntamientos. Sin embargo, sin el apoyo de un programa intersecretarial e interinstitucional, los efectos están condicionados a concesionar el servicio a empresas privadas; lo que se plantea es un sistema de generación de biocombustible que sea insumo para los transportes municipales y un vínculo directo con el transporte público de personas concesionado.

e) Programa de incentivos fiscales para el sector industrial:

Este programa está centrado en cuatro áreas básicas que permiten su operación y que deben estar reflejadas en la normativa de la SEDEMA. En primer lugar, el registro formal de emisiones por actividad y giro, tal como lo señala la ley, pero que lamentablemente no existe en el estado. En segundo lugar, un sistema de gestión de incentivos fiscales que sea fácil de operar para las empresas que participen y les permita transitar a un modelo de sustitución de combustibles a no convencionales y menos contaminantes, la cogeneración y responsabilidad ambiental. En tercer lugar, generar un programa de coinversión en ciencia y tecnología para que académicos y estudiantes contribuyan a resolver problemas de eficiencia y reducción de emisiones; por último, generar un premio ambiental para las empresas que, además de reducir sus emisiones, logren satisfacer su propia demanda de energía en el marco de una economía circular.

f) Programa de transporte público concesionado:

La calidad del aire de las ciudades está asociada al parque vehicular y sus efectos en la salud son cada vez más adversos. En este sentido es necesario y en extremo recomendado atender como prerrogativa del gobierno estatal que al menos 50 % de los vehículos del servicio público de pasajeros transite modelos de baja contaminación o emisiones cero y se implemente una tasa impositiva en la tenencia vehicular, es decir, gravar los vehículos de acuerdo con su nivel de emisiones. Así, los más contaminantes (más antiguos y de mayor cilindraje) pagarían un nivel más alto de tenencia. Al vincular este impuesto con el nivel de contaminación se generan incentivos para sustituir vehículos que tengan mayor rendimiento de gasolina y, en consecuencia, menor contaminación, pues el costo de tenerlos también es menor. Asimismo es necesario un reordenamiento de rutas y transporte concertado en los centros urbanos, que lo haga más eficiente y atienda un mayor volumen de población.

Consideraciones finales

El fenómeno del cambio climático es, sin lugar a dudas, el reto del presente siglo y puede abordarse desde dos perspectivas: la adaptación y la mitigación. El crecimiento poblacional acelerado demanda combustibles para el desarrollo de las actividades del sector económico y del bienestar humano; estas acciones contribuyen al aumento en las emisiones de GEI de cualquier región.

Si bien la elaboración de un inventario de emisiones de GEI a cualquier escala requiere de personal capacitado para el correcto uso y manejo de fuentes de información y de los resultados obtenidos, el documento final proporcionará información útil para el desarrollo económico, además de permitir estudiar problemas medioambientales desde diferentes sectores.

También es necesario tener en cuenta que en todo inventario de emisiones de GEI, se parte de información o datos de quemados de combustibles, producción industrial o agropecuaria, que al multiplicarse por un factor de emisión previamente establecido arroja un valor estimado de la emisión de algún GEI, por lo que un inventario de emisiones de GEI es una aproximación.

En el contexto del cambio climático y los acuerdos internacionales, México por primera vez presenta su contribución prevista y determinada a nivel nacional en 2015, la cual es un compromiso internacional no condicionado para realizar acciones de mitigación. Esto refleja el esfuerzo del gobierno mexicano para encontrar sinergias entre medidas de mitigación y adaptación que, aparte de contribuir a frenar el calentamiento global, reduzcan la vulnerabilidad social y ecosistémica (INDC, 2015).

Los resultados obtenidos del presente análisis muestran que en la entidad veracruzana existen áreas de oportunidad a través de acciones como: reducir el consumo de energía eléctrica en entidades públicas y privadas, mejorar el manejo de residuos sólidos urbanos, disminuir las emisiones generadas por el sector transporte, entre otras. Estas medidas pueden ser fomentadas y puestas en marcha mediante diversos instrumentos ejecutados por el gobierno estatal y/o municipal, dentro del ámbito de su competencia.

El cambio climático en las costas veracruzanas

Mark Marín Hernández y Gabriela Athié

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

CONACYT-Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

markmarin@uv.mx, gathie@uv.mx

Resumen

En el presente escrito se hace un análisis de los posibles impactos del cambio climático sobre las costas del estado de Veracruz, basado tanto en estudios locales previos, como en las tendencias previstas en el Quinto Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Dentro de los impactos potenciales para las zonas arrecifales se encuentran el aumento de la temperatura del mar y la acidificación de los océanos, esta última con un ascenso del 20 % como mínimo, en las predicciones globales. Las áreas de mayor vulnerabilidad en la zona costera, con respecto a las tendencias del incremento del nivel de mar en el estado (3 mm año^{-1}) son Coatzacoalcos y Tuxpan. La predicción global es de un aumento mínimo del nivel del mar de 30 cm para el año 2050, aproximadamente, lo que pone en riesgo las zonas bajas del estado, como lagunas costeras, estuarios, manglares y dunas, siendo la Laguna de Alvarado la zona de mayor riesgo de afectación. Es imperativo considerar dentro de los planes de desarrollo municipales las modificaciones relacionadas con el cambio climático, tales como el aumento del nivel del mar, el incremento de la temperatura y cambios en el pH del océano; la modificación de mantos acuíferos por intrusión salina, así como el incremento de fenómenos atmosféricos de riesgo. Para poder realizar un diagnóstico certero de todas estas variables, todavía son necesarios estudios de largo plazo realizados de forma puntual para zonas estratégicas dentro del estado de Veracruz.

Antecedentes

La zona costera de Veracruz cuenta con 745 km de longitud, lo cual representa 29.3 % de la costa mexicana del Golfo de México. Esta pequeña franja de tierra es muy dinámica, ya que en ella hay interacción entre el océano, la tierra y la atmosfera; de igual forma posee una gran cantidad de recursos y ambientes, por lo que se considera de alta importancia ecológica, económica, turística y social.

Veracruz, un estado con un amplio litoral, tiene una gran diversidad de ambientes costeros y marinos, así como de recursos: todos ellos se encuentran forzados por distintos procesos tanto físicos, biológicos, químicos y antropogénicos. Debido a esto en los últimos años ha aumentado el crecimiento demográfico, y en la actualidad hay una tendencia global de movimiento hacia la zona costera, pues se estima que la cuarta parte mundial de la población la habita. Como consecuencia de esta migración, la zona costera está sometida a perturbaciones: cambio del uso del suelo, incremento de los asentamientos humanos, deforestación, contaminación, sobrepesca y eutrofización, entre muchas otras.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014) prevé para el Golfo de México un escenario con eventos extremos del clima, sequías más severas, lluvias torrenciales, incremento de depresiones tropicales, así como la magnitud de los huracanes. Además, tenemos el aumento en la temperatura del océano, acidificación y el incremento del nivel del mar.

En el informe del IPCC (2014) se determinaron cuatro nuevos escenarios de emisión o proyecciones. Los escenarios definen las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP por sus siglas en inglés), que oscilan entre 2.6 Wm^{-2} (RCP2.6), que equivale a un forzamiento bajo, hasta 8.5 Wm^{-2} (RCP8.5), que es un nivel de emisiones alto, y las trayectorias de 4.5 Wm^{-2} (RCP4.5) y 6.0 Wm^{-2} (RCP6.0) corresponderían a un nivel de estabilización. Estas proyecciones mencionan que los océanos del mundo seguirán calentándose, durante el presente siglo, en las regiones tropicales y subtropicales del hemisferio norte, donde se encuentra el litoral veracruzano. Estas zonas serán las que presenten un mayor aumento de temperatura en las capas superficiales del océano, mientras que en el Antártico, el mayor incremento en la temperatura se presentará en la parte profunda.

Como consecuencia de los cambios previstos por dichas proyecciones, se espera la alteración de los patrones de evaporación superficial y de la circulación de las corrientes en la cuenca del norte del Atlántico, lo que de forma eventual repercutirá en variaciones de las corrientes dentro del Golfo de México. Con respecto a la circulación de gran escala, se estima

una alta probabilidad de debilitación en la Circulación Meridional de Retorno del Atlántico (AMOC por sus siglas en inglés) a lo largo de este siglo (IPCC, 2014; Valle *et al.*, 2017). En este sentido, las estimaciones más optimistas consisten en un debilitamiento de la AMOC del 11 % y 34 % en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente; no obstante, mencionan que es poco probable que esta sufra una transición abrupta o un colapso.

A partir de observaciones históricas y modelos numéricos, se ha reportado que hasta 1990 la circulación termohalina dominaba sobre la celda de circulación horizontal en el Atlántico Norte, mientras que en los últimos años es la circulación horizontal. En balance, se observa una disminución neta en la circulación termohalina de más del 30 % entre 1957 y 2004 (Bryden *et al.*, 2005). Como consecuencia de esta reducción en la circulación termohalina se tendría un aumento en el transporte de la corriente de frontera oeste; sin embargo, Bryden *et al.* (2005) observaron un incremento de solo 2 Sv a 25 °N en los últimos 50 años, el cual no es significativo, ya que es del mismo orden de magnitud que la incertidumbre de dicho cálculo. No obstante, estos autores sostienen que sí existe evidencia significativa de dicho cambio en la circulación en aguas profundas, reflejándose en el transporte del agua profunda del Atlántico Norte.

En la actualidad es incierta la afectación que generarán estos cambios de la circulación oceánica de gran escala, sobre zonas costeras específicas, como el litoral veracruzano, debido a la complejidad de los forzamientos que se dan a diferentes escalas para cada sitio en particular. Empero, la circulación dentro del Golfo de México es afectada en gran medida por la dinámica de remolinos de mesoescala, los cuales a su vez dependen de la corriente de frontera oeste en el Atlántico Norte. De esta forma, es un hecho que las variaciones previstas alterarán los patrones en la circulación del Golfo de México y que esto repercutirá en diferentes sentidos nuestras costas y los sistemas ecológicos dentro de las mismas.

Aumento de la temperatura

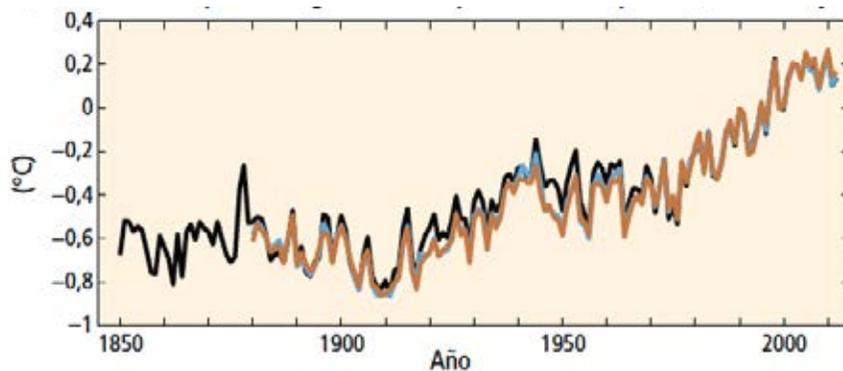
La temperatura del océano se ha incrementado en los últimos años debido al cambio climático y está previsto que así continúe (Figura 1). Este aumento influirá en la fisiología de los organismos, desde los más pequeños, como el plancton, hasta los más grandes como las ballenas, ocasionando alteraciones en las cadenas alimenticias, produciendo estrés y hasta la muerte de muchos organismos. Un estudio realizado a partir de temperaturas superficiales del océano muestra que la parte noreste del Golfo de México se ha enfriado, mientras que el oeste

del Golfo de México, donde se encuentran las costas de Veracruz, se ha calentado por más de tres décadas (Lluch *et al.*, 2013).

Entre los ecosistemas vulnerables al aumento en la temperatura del mar se encuentran los sistemas arrecifales. El estado de Veracruz posee sistemas arrecifales a lo largo de su extensión: en el norte se encuentra el Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT), en la parte central el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y al sur el Sistema Arrecifal Los Tuxtlas (SAT). Una de las principales afectaciones hacia los sistemas arrecifales es el blanqueamiento del coral. El aumento en la temperatura del agua de mar ocasiona la expulsión de las zooxantelas (algas que viven en simbiosis con el coral), en consecuencia los corales pierden su color y posteriormente mueren.

Este tipo de eventos ya se han registrado en el estado de Veracruz. En los años 90, Carricart (1993) registró un evento de blanqueamiento de coral en los arrecifes del SAV, afectando de forma considerable la zona. De acuerdo con las proyecciones, se espera que en los años por venir se incrementen dichos incidentes en varios de los sistemas arrecifales, lo que produciría una mortalidad masiva de estos organismos, y pérdida de biodiversidad y de los servicios ambientales que provén.

Figura 1. Anomalías del promedio anual y global de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas (combinadas), respecto al promedio del periodo de 1986 a 2005



Fuente: Datos tomados del reporte IPCC, 2014. Los colores indican diferentes conjuntos de datos.

Acidificación

Aunado al incremento de la temperatura se da la acidificación de los océanos, como consecuencia de la elevación de CO₂ en los mismos. El IPCC (2014) prevé que la acidificación

de los océanos aumente en todos sus escenarios para finales de este siglo, salvo en el RCP2.6, para el que se tiene prevista una ligera recuperación. Este ascenso de la acidificación crea una disminución del pH, cuyas variaciones mínimas pronosticadas por el IPCC van desde 0.06 a 0.07 de reducción del pH, que corresponden a aumentos de acidez de 15 a 17 %. Los rangos máximos prevén una baja de pH de 0.30 a 0.32, correspondientes a un acrecentamiento de acidez del 100 % al 109 %, para el escenario RCP8.5. Estos cambios no solo afectarán a los sistemas arrecifales de nuestro estado, sino a la mayoría de los organismos que habitan en nuestras costas; tanto especies de microalgas, las cuales son la base de la cadena alimenticia, como varias especies de moluscos, crustáceos y corales, los cuales utilizan el carbonato de calcio que se encuentra en el agua de mar para formar parte de sus conchas y esqueletos. Además, el descenso del pH puede afectar los diferentes procesos metabólicos que se dan en los organismos, los cuales van desde la alimentación hasta la reproducción. De esta forma se verían afectados todos los ecosistemas de nuestra costa haciéndolos menos productivos, con una baja diversidad y resiliencia.

Aumento del nivel del mar

Otro impacto del cambio climático sobre la zona costera es el aumento del nivel del mar, el cual se debe a la expansión térmica y al derretimiento de los hielos. Los escenarios del IPCC (2014) muestran una probabilidad alta de que se eleve la tasa reportada con anterioridad, que era de 2 mm año⁻¹ en el periodo 1971-2010. En la Tabla 1 se pueden observar los rangos probables para los diferentes escenarios previstos para mediados y finales del presente siglo, donde se tiene un alza del nivel del mar de hasta 8-16 mm año⁻¹, para finales de este siglo (escenario RCP8.5). Es importante aclarar que estos incrementos previstos por los diferentes escenarios no serán uniformes en todas las regiones del planeta.

Tabla 1. Proyección de la elevación del nivel medio del mar para mediados y finales del siglo XXI de forma global, con respecto al periodo 1986-2005

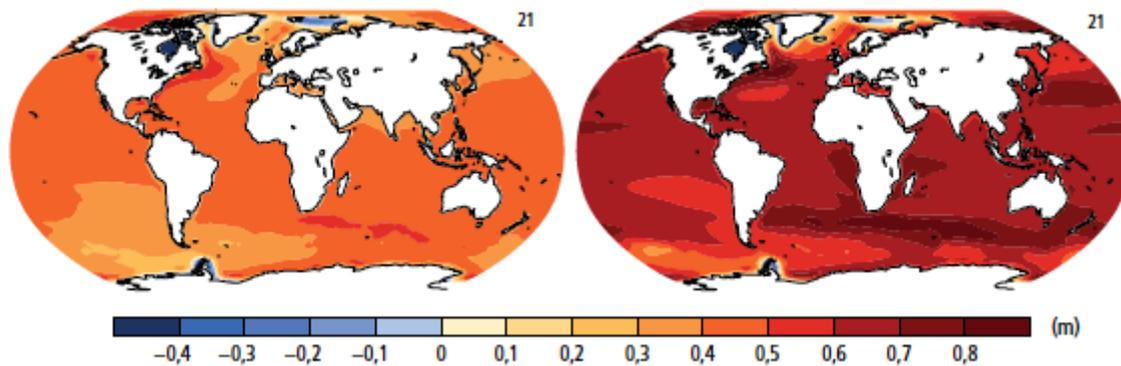
	Escenario	2046-2065		2081-2100	
		Media	Rango probable ^d	Media	Rango probable ^d
Elevación del nivel medio global del mar (en metros) ^b	RCP2,6	0,24	0,17 a 0,32	0,40	0,26 a 0,55
	RCP4,5	0,26	0,19 a 0,33	0,47	0,32 a 0,63
	RCP6,0	0,25	0,18 a 0,32	0,48	0,33 a 0,63
	RCP8,5	0,30	0,22 a 0,38	0,63	0,45 a 0,82

Fuente: Datos tomados del reporte IPCC, 2014.

Para la parte sureste de Norteamérica existen estudios puntuales que reportan una aceleración de los cambios en el nivel del mar entre 2011 y 2015, la cual es tres veces mayor a los valores promedio globales. Las oscilaciones interdecadales en el nivel del mar están asociadas 87 % con cambios atmosféricos y oceánicos regidos por los efectos acumulativos de la Oscilación del Atlántico Norte y el índice de El Niño oscilación del sur (Valle *et al.*, 2017). Para este último se ha reportado un incremento en su intensidad tanto de su fase positiva como negativa (La Niña) en los últimos años (Cai *et al.*, 2014).

El IPCC señala que alrededor del 70 % de las costas de todo el mundo experimentarán un cambio en el nivel del mar de hasta un ± 20 % del valor medio mundial (Figura 2). Tanto el aumento en el nivel del mar que ya se ha presentado, como el previsto para los siguientes años, generarán cambios en la línea de costa del litoral veracruzano. Si a los efectos del nivel del mar sumamos los de la marea y el oleaje, obtendremos una mayor erosión de playas y dunas, aumento de zonas de inundación, cambios permanentes en los ecosistemas costeros, afectaciones en los asentamientos humanos, en las actividades económicas, como la agricultura y el turismo, y en la calidad de agua dulce.

Figura 2. Cambio en el nivel medio del mar (1986-2005 a 2081-2100)



Proyecciones medias multimodelos de la quinta fase del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5) para el periodo 2081-2100, según los escenarios RCP2,6 (izquierda) y RCP8,5 (derecha) para cambio en el nivel medio del mar. Los cambios se muestran en relación con el periodo 1986-2005. En la esquina superior derecha de cada mapa se indica el número de modelos de la CMIP5 utilizados para calcular la media multimodelos.

Fuente: Tomado del reporte de IPCC, 2014.

Las tendencias de aumento del nivel del mar para México son similares a las globales (Zavala *et al.*, 2011). Con respecto a las costas veracruzanas, las cifras más altas de aumento del nivel del mar pertenecen a los puertos de Coatzacoalcos y Tuxpan, con 2.9 ± 1.5 y 2.8 ± 2.3 mm año⁻¹, respectivamente; mientras que las menores son de los puertos de Veracruz y Alvarado con 1.9 ± 0.6 y 1.9 ± 2.3 mm año⁻¹, respectivamente. En otro estudio incluido dentro del PVCC (2009) se identificaron con modelos de elevación, las zonas con establecimientos humanos vulnerables a impactos asociados con el aumento del nivel del mar. La Tabla 2 resume los datos de los asentamientos cuyas coordenadas caen dentro de las áreas expuestas a impactos marinos.

En este mismo estudio se reporta que 883 comunidades con alrededor de 158 566 habitantes podrían estar en vulnerabilidad en los próximos años debido al aumento del nivel del mar; estas cifras de 2005 con seguridad se elevaron, por lo que en la actualidad se espera que el impacto sea para un mayor número de personas. Sin embargo, a pesar de que el Servicio Mareográfico Nacional cuenta con 50 años de observaciones del nivel del mar en las costas del Golfo de México, para el caso de México no se han realizado estudios específicos acerca de los escenarios para finales de este siglo, aun cuando se ha observado que las tendencias del siglo pasado son mayores al promedio global registrado (Zavala *et al.*, 2015).

Además de las afectaciones a las comunidades y sus habitantes, también tenemos a los ecosistemas que se encuentran en sitios bajos, como lagunas costeras, estuarios, manglares, dunas, etcétera. En la Figura 3 se puede observar que a lo largo de la costa veracruzana hay un

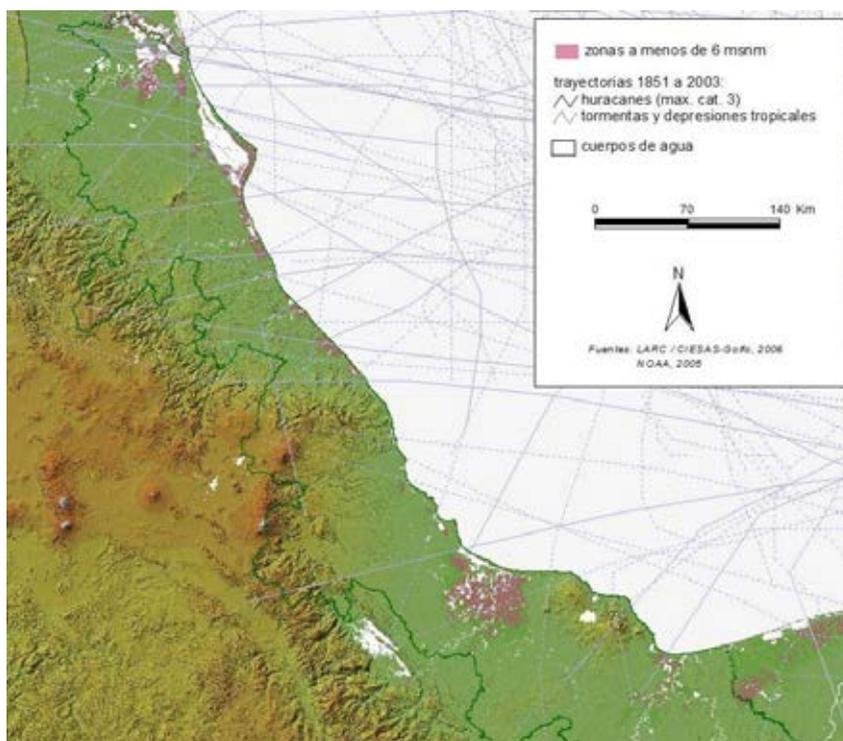
gran número de zonas con menos de 6 m s. n. m., siendo la laguna de Alvarado la de mayor afectación.

Tabla 2. Localidades según altura calculada sobre el nivel del mar y población censal en los años 2000 y 2005

Elevación y condición de registro censal:	Población 2005	Población 2000	Tasa de crecimiento anual	Número de localidades
Elevación máxima de 6 m	9,863	10,403	-0.9%	242
<i>Presentes en 2005 y 2000</i>	9,811	10,216		155
<i>Nuevas en 2005</i>	52			14
<i>Desaparecen en 2005</i>		187		36
Elevación entre 4 y 6 m	121,168	117,782	0.5%	396
<i>Presentes en 2005 y 2000</i>	121,041	117,489		277
<i>Nuevas en 2005</i>	127			20
<i>Desaparecen en 2005</i>		293		42
<i>Desaparecen antes del 2000</i>				57
Elevación entre 2 y 4 m	24,854	23,875	0.7%	188
<i>Presentes en 2005 y 2000</i>	24,830	23,647		113
<i>Nuevas en 2005</i>	24			6
<i>Desaparecen en 2005</i>		228		30
<i>Desaparecen antes del 2000</i>				39
Elevación menor a 2 m	2,681	2,530	1.0%	57
<i>Presentes en 2005 y 2000</i>	2,662	2,500		33
<i>Nuevas en 2005</i>	19			6
<i>Desaparecen en 2005</i>		30		5
<i>Desaparecen antes del 2000</i>				13
Total	158,566	154,590	0.4%	883

Fuente: PVCC, 2009.

Figura 3. Veracruz y la elevación extrema del mar asociada a meteoros tropicales



Fuente: PVCC, 2009.

Discusión

A partir de este análisis, queda claro que las costas del estado de Veracruz son altamente vulnerables al cambio climático. Los impactos ocasionados por este fenómeno ya están ocurriendo dentro de nuestras costas y los pronósticos para el futuro inmediato no son alentadores. En todos los escenarios del IPCC (2014), aun en el nivel más bajo (RCP2.4), se tienen previstos incrementos que repercutirán de forma significativa sobre las costas. Estos impactos se sumarán a los antrópicos que se han realizado a lo largo de las costas del estado, como la infraestructura mal planeada, la cual acrecienta los problemas de erosión de playas y dunas costeras, tala de manglares y relleno de áreas de inundación, entre otros.

Sin embargo, para poder llevar a cabo estrategias para disminuir la vulnerabilidad de las costas en conjunto con el cumplimiento de las necesidades antrópicas y los requerimientos de la mancha urbana, son necesarios estudios detallados y monitoreos a largo plazo, con el respectivo informe de los resultados ante quienes toman las decisiones o bien a nivel académico,

proporcionando el acceso al público en general. Esto permitirá una planificación ambiental estratégica a largo plazo, en la que se considere una alta protección al medio ambiente y se promueva el desarrollo sostenible.

Con respecto a las áreas naturales protegidas que continúan siendo afectadas de manera indirecta, como las zonas arrecifales a causa del incremento de la temperatura y la acidificación de los océanos, se requieren medidas de mitigación y de adaptación. La mitigación está directamente relacionada con la acción de disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero, bajando su producción o incrementando su captura. Y la adaptación está definida como: “[...] las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas ante los efectos esperados de un cambio climático” (IPCC, 2007). Es ineludible que comencemos con los procesos de mitigación y adaptación, antes de que los costos económicos y ambientales de la inacción alcancen niveles irreversibles.

Dentro de las recomendaciones para afrontar la mitigación y adaptación al cambio climático en los 29 municipios con litoral del estado, es necesario revisar y actualizar cada uno de los atlas de riesgos municipales, y a partir de esto reconocer los tipos y niveles de riesgo y vulnerabilidad de cada municipio, con el fin de poder hacer recomendaciones específicas en aquellos que tiendan a resultar más afectados. Los municipios costeros también tendrán que adecuar sus programas de desarrollo urbano de forma individual, para evitar asentamientos (o reubicarlos, si es que ya existen) en zonas de riesgo debido al incremento del nivel del mar, impacto por tormentas tropicales, huracanes, inundaciones o alto nivel de erosión de la playa.

Veracruz tiene en proceso un programa de ordenamiento ecológico del territorio estatal dentro de su plan de desarrollo, en el cual se tienen plasmadas las regiones marinas e hidrológicas prioritarias y las áreas naturales protegidas, gran parte de ellas en la zona costera. Dentro de este plan ya se considera la protección de las zonas vulnerables como los manglares, dunas, estuarios, arrecifes de coral, etcétera; sin embargo, también es necesario que se consideren los efectos del cambio climático sobre estas regiones prioritarias y áreas protegidas dentro de los planes de desarrollo. En particular las debidas al incremento del nivel del mar, los mantos acuíferos perjudicados por intrusión salina, así como el incremento de fenómenos atmosféricos extremos como frentes fríos, tormentas tropicales y huracanes.

Las afectaciones en la zona costera veracruzana debidas al cambio climático ya están ocurriendo, y parte de las predicciones a nivel estatal y nacional se basan en los escenarios establecidos por el IPCC. No obstante, estos son a nivel global, por lo que, para poder llevar a cabo una mejor adaptación a los impactos por venir, se requieren estudios puntuales para conocer las posibles repercusiones locales que pueden ocurrir en nuestro estado. Actualmente

no se cuentan con suficientes estudios para alimentar modelos de predicción que tomen en cuenta la problemática particular de nuestro estado, además de la dinámica regional tanto oceánica como atmosférica. Este tipo de modelos permitirían establecer escenarios regionales y locales confiables, adaptados a las necesidades particulares de la entidad, lo que ayudaría a una mejor planeación en el aspecto no solo ambiental, sino también social y económico.

Biodiversidad en Veracruz y cambio climático

*Miguel Equihua Zamora, Arturo Hernández Huerta,
Octavio Pérez Maqueo y Griselda Benítez Badillo
Instituto de Ecología, A. C. Red Ambiente y Sustentabilidad
equihuam@gmail.com, arturo.hernandez@inecol.mx
octavio.maqueo@inecol.mx, griselda.benitez@inecol.mx*

Resumen

Veracruz es el tercer estado con mayor diversidad biológica, después de Chiapas y Oaxaca. Existen estudios sobre los efectos previstos del cambio climático global en el territorio. Se disponen de planes de acción ante el fenómeno y una ley para impulsar las acciones de mitigación y adaptación. El cambio climático provocará variaciones en la abundancia y distribución de especies, que inducirán la ampliación de la presencia en la entidad de enfermedades, así como alteraciones a la estructura de las comunidades biológicas. La biodiversidad y el entramado de interacciones en los ecosistemas son el sostén de la vida y proveen bienestar a través de la producción de beneficios que disfruta la gente. La modificación de la biodiversidad afectará la capacidad de producir estos beneficios, con repercusiones que resentirán las poblaciones locales y sus economías. El desarrollo respetuoso de la naturaleza requiere evaluar el estado en que se encuentran los ecosistemas. Resultados preliminares obtenidos por CONABIO en colaboración con el INECOL (con el apoyo de la Unión Europea) condujeron al planteamiento del índice de integridad ecosistémica, mismo que se ilustra en este trabajo y que permite valorar el uso del capital natural en el territorio. Esta información es importante para orientar las políticas públicas hacia un progreso congruente con el mantenimiento de los ecosistemas del estado y para valorar mejor los costos ecológicos de las acciones de desarrollo. Así surge

el programa Integralidad Gamma (i-Gamma) que contribuirá a llevar a acabo capacidades de manejo de los datos masivos que ya están configurando un *big data* ambiental.

Preliminares

En la actualidad se dispone de un gran acervo de información sobre la biodiversidad del estado, incluido el análisis de su exposición y vulnerabilidad ante el cambio climático (Tejeda *et al.*, 2008 y varios trabajos posteriores). La importancia de la extraordinaria riqueza biológica de Veracruz se menciona en estudios relativamente recientes (Benítez *et al.*, 2008, 2010; Pineda *et al.*, 2008), y en el amplio *Estudio de Estado* que reúne la mayor parte del conocimiento disponible sobre la biodiversidad de la entidad (CONABIO, 2011). En 2010 se publicó la propuesta del Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC), que en su momento, y aun hoy, fue piedra angular para la construcción de una política sensible y flexible para afrontar los desafíos que supone el cambio climático. Sin embargo, su implementación necesita del impulso de la sociedad, el sector privado y el gobierno para que de los impactos del cambio climático surjan nuevas oportunidades de desarrollo para la entidad.

Veracruz cuenta con una Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático (2010), Agendas Sectoriales y Programas de Acción Climática Municipales, pero todavía carece de instrumentos eficientes para hacer operativas las políticas públicas de atención al cambio ambiental desde una perspectiva transversal, sin descuidar el desarrollo social y económico de los veracruzanos. Por ello, es esencial desarrollar capacidades para contar con información confiable y oportuna sobre el cambio ambiental que ocurre en la entidad. Estas son indispensables para evaluar y en su caso reorientar las actividades productivas, de tal forma que mantengan la viabilidad de los procesos económicos, al mismo tiempo que se preserva el funcionamiento adecuado de los ecosistemas. Estimamos que la incorporación de la biodiversidad en la concepción misma del desarrollo es la única manera de ser congruentes con las aspiraciones de hacerlo en forma sustentable.

Para enfrentar el cambio climático se han concebido dos grandes vías de acción: mitigación y adaptación. La primera hace énfasis en la reducción de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, mientras la segunda se refiere a las acciones de cambio social y ambiental que contribuyen a reducir los efectos adversos previsibles. La biodiversidad puede actuar de forma positiva tanto en acciones diseñadas para la mitigación como para la adaptación. Es de notar que, por su naturaleza, la instrumentación de las acciones de mitigación

tiene efectos globales, en cambio las de adaptación los tienen locales. Esto hace que el diseño y puesta en práctica de documentos políticos dirigidos a la adaptación sean usualmente más complejos. Hay que considerar también que los expertos en cambio climático estiman que los países con economías emergentes presentan una capacidad adaptativa reducida contra los efectos del aumento en la temperatura, ascenso del nivel medio del mar, mayor frecuencia e intensidad de huracanes, inundaciones o sequías.

La necesidad de tomar medidas ante el cambio climático en algunos sectores de la vida económica de Veracruz es inminente. Por ejemplo, los efectos de eventos extremos (tempestades intensas que alternan con sequías prolongadas) desafían al sector agropecuario lo mismo que al sector salud, en muchos casos por afectaciones mediadas por variaciones relacionadas con la biodiversidad, que incluyen la alteración al funcionamiento de los ecosistemas. En estos sectores, el cambio climático puede inducir efectos tan contundentes que el gasto público actual y el del futuro inmediato superen los presupuestos asignados para atender las emergencias. Una política de planificación estratégica previsoras basada en la comprensión científica del fenómeno y el aprovechamiento de experiencias contenidas en la sabiduría de los pueblos, son elementos fundamentales para enfrentar la incertidumbre ecológica, social y económica que conlleva los efectos del cambio climático global.

Cabe destacar que el cambio climático no es sino una de las varias formas como se manifiesta en la actualidad el cambio ambiental, de escala global, inducido por el ser humano en la biosfera. Otras dimensiones son la acidificación de los mares, la pérdida de biodiversidad y el incremento de nitrógeno asimilable en el suelo y el agua, entre otras.

Cambio ambiental e integridad ecosistémica

Veracruz es considerado el tercer estado con mayor diversidad biológica del país, solo superado por Oaxaca y Chiapas. En su territorio están presentes 19 tipos de vegetación, con una riqueza florística compuesta por entre 7 855 y 8 400 especies de plantas (Castillo *et al.*, 2011; Gómez *et al.*, 2010). De ese total, 99 especies de plantas tienen distribución restringida al territorio veracruzano (Gómez *op. cit.*). Con respecto a la fauna, en Veracruz se ha registrado la presencia de 192 especies de mamíferos terrestres (González, 2011), 717 especies de aves (Gallardo y Aguilar, 2011), 103 especies de anfibios (Guzmán *et al.*, 2011) y 220 de reptiles (Morales *et al.*, 2011). Hasta los primeros años del siglo XX, Veracruz conservaba gran parte de su biodiversidad y prácticamente estaba cubierto por bosques tropicales y templados, en

su mayoría. Sin embargo, en la actualidad se calcula que existe una cobertura no mayor a 15 % de bosques conservados, los cuales se encuentran en áreas de difícil acceso y de fuertes pendientes como cañadas, barrancas y laderas.

Estos remanentes son hoy en día muy importantes porque resguardan, en lo que cabe, la riqueza florística del estado. La Tabla 1 muestra la superficie de los tipos de vegetación reportados para Veracruz (Castillo *et al.*, 2011) y el número de especies bajo protección de acuerdo con la NOM-059SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). En las partes altas de las montañosas del centro y noroeste del estado predominan los bosques de coníferas y el mesófilo o de niebla, que contienen muchas especies maderables y, por tanto, son considerable fuente de ingresos.

Tabla 1. Especies por tipo de vegetación y estado de conservación reconocido

Tipo de vegetación*	Superficie (km ²)	%	Número de especies	Especies sensibles
Bosque tropical perennifolio	2515.05	3.47	2 230	160
Bosque mesófilo de montaña	1352.71	1,87	2 028	137
Bosque de encino	201.00	0.27	1 727	88
Bosque tropical caducifolio	228.42	0.31	1 754	65
Bosque tropical subcaducifolio	14.32	0.01	1 221	65
Bosque de pino	52.86	0.07	1 015	35
Matorral xerófilo	93.91	0.13	994	10
Bosque de pino-encino	262.53	0.36	883	39
Pastizal cultivado	32549.99	45.0	474	4
Bosque de galería o vegetación riparia	12.85	0.02	469	67
Vegetación de dunas costeras	181.67	0.25	462	15
Sabana			259	5
Popal-tular	1262.99	1.74	455	9
Manglar	430.21	0.59	191	4
Bosque de abeto (<i>Abies</i>)			151	5
Palmar	29.75	0.04	102	3
Vegetación de páramos de altura			41	
Bosque de táscate (<i>Juniperus</i>)			10	
Vegetación secundaria	7985.19	11.0	621	91
Vegetación rupícola				11
Bosque espinoso				6

*Miranda y Hernández X., 2016; Rzedowski, 1978.

Fuente: Elaboración propia con base en Castillo *et al.*, 2011.

El impacto del cambio climático global sobre la biodiversidad está induciendo la extinción de especies, alteraciones en su abundancia y en la estructura de las comunidades

biológicas, lo que redundará en pérdida y degradación del hábitat. También están ocurriendo modificaciones en la distribución de las especies y los biomas (Pereira *et al.*, 2010). El cambio climático provoca efectos indirectos como propiciar la dispersión de enfermedades o alterar la disponibilidad de alimentos o sitios de reproducción. Los resultados de los estudios realizados sobre cambio climático en Veracruz muestran que la prevalencia de condiciones propicias para los bosques tropicales perennifolios y caducifolios podrían tener una ampliación en la década de 2020, para dar lugar en el horizonte de 50 años a contextos que con seguridad resultarán en reacomodos, sobre todo del bosque tropical caducifolio (Benítez *et al.*, 2008).

De forma particular se ha reconocido que los bosques mesófilos de montaña (BMM) de México serán más afectados por el aumento en la temperatura, pues estarán expuestos a condiciones más secas y cálidas, provocando cambios en su estructura, composición y distribución (Alba *et al.*, 2008; Pineda *et al.*, 2008). Los bosques mesófilos podrían avanzar sobre los de coníferas y de encino, y es probable que zonas con climas propicios para la existencia del bosque espinoso se amplíen, sobre todo en el norte de la entidad; sin embargo, este casi ha desaparecido bajo la presión del uso agropecuario. Por su parte, hoy día la vegetación xerófila en Veracruz tiene un mínimo de representación en la entidad, lo cual implica que existe el riesgo de extirpación de los contingentes de especies más sensibles de este tipo. En esta área también se localizan algunas reliquias de *Pinus cembroides* (pino piñonero), que tienen valor económico por su semilla más que por su madera.

Entre la fauna silvestre, los anfibios serán los más afectados por el calentamiento global, en especial, un contingente de 34 especies que habitan en bosques húmedos de montaña, los cuales se volverán más secos y cálidos. Indicios recientes señalan que los reptiles, a pesar de estar adaptados para vivir en ambientes secos, son perjudicados por el calentamiento global (Whitfield *et al.*, 2007; Sinervo *et al.*, 2010), en particular los lacertilios o lagartos (lagartijas, camaleones, iguanas). Este grupo de vertebrados puede ser el segundo más afectado por el calentamiento global en la entidad.

Los mamíferos con certeza se desplazarán hacia las partes altas del estado, pero 18 especies podrían tener comprometida su existencia, en particular seis con distribución geográfica altamente restringida: la musaraña de Los Tuxtlas (*Cryptotis nelsoni*), la tuza de Xuchil (*Orthogeomys lanius*), el ratón gigante xalapeño (*Megadontomys nelsoni*) y tres especies de roedores del área de Perote (*Megadontomys nelsoni*, *Neotoma nelsoni* y *Xerospermophilus perotensis*). Las aves podrán colonizar otras áreas si disponen de hábitat adecuado en las zonas receptoras. No se esperan extinciones locales de este grupo, salvo alguna de las 21 especies endémicas de México que tienen distribución muy restringida en Veracruz. Es de esperar que

la abundancia de muchas especies de fauna silvestre se vea reducida, debido a la degradación que presentan los ecosistemas de Veracruz, que ofrecen pocos hábitats disponibles para ser colonizados por especies que prefieren ambientes con alta naturalidad para vivir o dispersarse.

El calentamiento global ejercerá mayor presión sobre las poblaciones silvestres que de por sí ya están muy enrarecidas en la entidad. La extinción de especies y la reducción drástica de las áreas de distribución podrían favorecer condiciones para el establecimiento en zonas donde antes no se encontraban ciertas especies, ampliando las áreas de distribución y creando condiciones adecuadas para que aumente su número. No obstante, esto incluye especies consideradas como nocivas para el ser humano, como el caso de algunos insectos transmisores de organismos patógenos causantes de enfermedades (Benítez *et al.*, 2008; Pineda *et al.*, 2008). De las conclusiones de los estudios que anteceden a este trabajo, la destrucción del hábitat es el factor más importante de la pérdida de biodiversidad en Veracruz. A estas causas de la extinción de los animales en el medio silvestre, se suman la cacería no controlada y la contaminación provocada por las actividades agropecuarias.

Biodiversidad y servicios ambientales

La biodiversidad y su entramado de interacciones en los ecosistemas son el sostén de la vida porque han proporcionado bienestar a través de suministrar los servicios ambientales, que se describen como de provisión (madera, fibra, agua, herbolaría), regulación (como la purificación del aire), soporte (de los ecosistemas mismos y de la producción agropecuaria, en especial) y culturales (paisaje, referentes identitarios). Por ejemplo, la vegetación natural asegura mantener los servicios de regulación que influyen en la calidad del aire, del clima, la calidad del agua, aminorar la erosión, las enfermedades y los desastres naturales. Los árboles absorben el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y retienen en el follaje partículas menores de 10 micras (PM_{10}). Las masas forestales limpian el aire y reducen así la concentración de gases de efecto invernadero. La vegetación también mitiga los cambios de temperatura en sus inmediaciones; la sombra en los parajes tropicales y áridos puede hacer que la temperatura del aire bajo la cubierta arbórea sea hasta 5 °C más fresca. Incluso, a nivel de circulación atmosférica local, los cambios en la cobertura terrestre pueden influir en cierto grado sobre la temperatura ambiente, la humedad y la precipitación.

Los ecosistemas terrestres y, en algunos casos, el suelo que los soporta, son depósitos de carbono. En particular los bosques acumulan grandes volúmenes del carbono atmosférico y

lo almacenan en sus tejidos. La caída de follaje y ramas, sobre todo en los bosques templados, aporta restos orgánicos al suelo en donde una parte se descompone y la otra se incorpora al suelo. Conviene señalar que, dependiendo del tipo de ecosistema, también puede acumularse suficiente material en la superficie como para generar riesgo de incendio. No obstante, en general, los bosques junto con los humedales son “resumideros” que constituyen verdaderos almacenes donde se “secuestra carbono”, evitando su reingreso a la atmósfera. El manejo para mantener y recuperar la vegetación constituye un mecanismo de mitigación por esta capacidad de capturar CO₂ y almacenarlo como biomasa.

La reducción de biodiversidad y, por lo tanto, el rendimiento de los ecosistemas conllevan a la merma en la capacidad de producir estos y otros servicios ambientales, con repercusiones que recientes sobre todo las poblaciones locales y sus economías. Las poblaciones más vulnerables son aquellas cuya existencia depende directamente de recursos naturales degradados. Es conveniente resaltar que el beneficio obtenido a costa de la explotación del capital natural no se ha traducido en una reducción de la pobreza ni en una repartición equitativa de la riqueza. Los datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) para 2014 indican que casi 60 % de Veracruz (cerca de 4.6 millones de personas) se encuentra en condiciones de pobreza. Si consideramos tanto el porcentaje como el número de personas, la tendencia de esta condición es creciente.⁶ Asimismo, el índice Gini para 2012 sitúa a Veracruz en el décimo primer lugar entre las entidades con mayor desigualdad.⁷

Las propuestas de valoración de servicios ecosistémicos que en origen fueron concebidas para resaltar que la importancia que tiene naturaleza para el bienestar humano es mayor que la que el pensamiento económico convencional le había dado, pueden ser interpretadas de forma errónea (Costanza *et al.*, 2017). En este sentido, la asignación de precios a los servicios ecológicos de la naturaleza, hasta ahora “gratuitos”, hace que se abra un campo enorme de potencial de comercialización. La escasez de condiciones naturales propicias puede resultar en la diferenciación de acceso a su disfrute para privilegiar solo a aquellos segmentos de la población o sectores industriales y de servicios decididos y con la capacidad para pagar por ellos, como es el caso de la oferta de agua, especies de valor comercial o paisajes de excepcional belleza.

⁶ https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Veracruz/PublishingImages/Veracruz_cuadro1.JPG

⁷ <https://datos.gob.mx/busca/dataset/valor-del-coeficiente-de-desigualdad-gini-nacional-y-por-entidad-federativa-2010-2012>

La variación en la conformación geográfica de los territorios que induce la economía globalizada, además del cambio climático, ha generado una enorme presión sobre la riqueza biológica planetaria, que ha resultado en una acelerada pérdida de biodiversidad sin precedente, uno de los signos distintivos del Antropoceno. Sin embargo, habría que valorar que al preservar la biodiversidad se inducen, directa o indirectamente, oportunidades para una calidad de vida más satisfactoria, lo que sugiere la relevancia de privilegiar criterios de equidad en las políticas públicas implicadas en su uso y conservación. Estas deben tener presente que la valoración monetaria no implica que los incentivos económicos son la única herramienta para internalizar los costos ambientales. En muchos casos deben considerarse otros instrumentos como la planificación y la regulación efectiva del espacio (De Groot *et al.*, 2012), en especial si se articula con una visión de gestión basada en ecosistemas.

En el análisis del cambio ambiental es útil establecer referentes. Un concepto adecuado en el caso de la biodiversidad es el de *integridad ecosistémica*, que se refiere al estado del ecosistema que surge de su capacidad para autoorganizarse en concordancia con los factores fisicoquímicos y procesos biológicos locales. Por lo tanto, es un parámetro natural para medir la condición de desarrollo que presenta un ecosistema en un lugar y tiempo determinados, pues en ausencia de alteración humana los ecosistemas tienden a alcanzar pleno desarrollo con configuraciones estructurales y funcionales bastante predecibles. A partir de este concepto es posible construir índices sugestivos del estado de conservación o vitalidad de un ecosistema.

Estrategia para medir el cambio ambiental global

Si partimos de que ya se han valorado los efectos que puede ocasionar el cambio climático sobre la biodiversidad de Veracruz, ahora lo que interesa es responder: ¿cómo hacer frente a los desafíos del cambio ambiental y obtener los beneficios que proporciona la biodiversidad para el bienestar de la gente? La respuesta a esta pregunta es en apariencia simple: manteniendo la integridad de los ecosistemas de Veracruz. La complejidad para lograr esto surge de la necesidad de crear capacidades para concebir y poner en práctica un desarrollo basado en la gestión apropiada de los ecosistemas, pues solo así se podrán articular en el estado políticas socioeconómica y ambientalmente congruentes con un desarrollo en verdad sustentable. Para ello, los funcionarios gubernamentales y los ciudadanos necesitan disponer del mejor conocimiento posible para tomar decisiones basadas en evidencia y emprender esfuerzos para dar una mayor coherencia a las políticas públicas involucradas en la conducción del desarrollo. Eso significa conocer de manera oportuna los cambios que presentan los ecosistemas y las

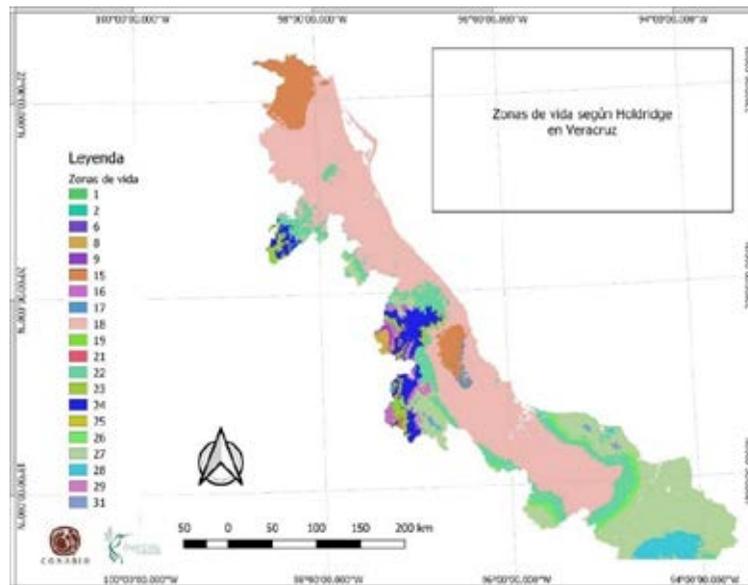
implicaciones sobre la provisión de servicios ecológicos, de tal forma que se puedan alinear las políticas públicas hacia el manejo sustentable de los recursos naturales, al mismo tiempo que se procura la satisfacción de las necesidades de los veracruzanos.

La gestión basada en ecosistemas requiere contar con mecanismos para evaluar en qué estado se encuentra la funcionalidad e integridad de los ecosistemas. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el Instituto de Ecología (INECOL) en colaboración crearon un índice de integridad ecosistémica, que ofrece un valor numérico en una escala que va de 0 (degradado) a 100 (conservado), para estimar el grado de conservación de un ecosistema, a partir de atributos estructurales y funcionales basados en redes bayesianas (García *et al.*, 2017). La infraestructura que se está llevando a cabo para la generación anual de este indicador permitirá producir información sobre el estado del capital natural del que depende el desarrollo, con suficiente resolución temporal y espacial para orientar las políticas públicas y que este sea congruente con el mantenimiento de los ecosistemas del estado en funcionamiento. Ahora se aprecia que el descuido de omitir al ecosistema en el diseño de las políticas de mejoras es en parte causa del escenario ambiental que prevalece en Veracruz, donde la falta de monitoreo ha ocasionado que las existencias, reservas o *stock* de capital natural hayan reducido notablemente.

Resultados y discusión

Debido a las condiciones de temperatura y humedad, en el estado de Veracruz se distribuyen 20 de las 31 zonas de vida (definidas según Holdridge (1967) existentes en México (Figura 1). Por desgracia, la integridad de estas zonas de vida se ha degradado a cerca del 43 % (Figuras 2 y 3). En algunos casos, como el de la estepa templada fría (zona de vida 9 en la Figura 1) y la selva húmeda tropical (zona de vida 17), la poca superficie que ocupan en el estado (127 km² y 231 km² respectivamente) y los bajos valores de integridad ecosistémica (38 %), sugieren que estos contingentes biológicos están en alto riesgo de desaparecer. Asimismo, es importante señalar que ecosistemas con gran extensión en nuestro estado también han experimentado una amplia reducción. Tal es el caso de la selva húmeda subtropical (zona de vida 18), cuya superficie de 33 150 km² ha disminuido a valores que alcanzan en promedio 60 % en el índice de integridad (Figura 3).

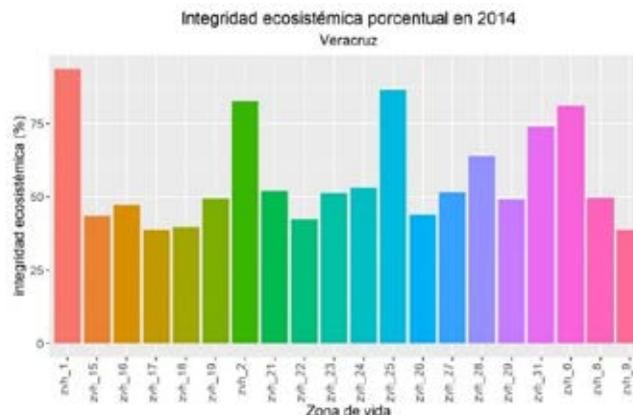
Figura 1. Distribución espacial de las zonas de vida de Holdridge para el estado de Veracruz



Zonas de vida: 1 y 2. Desiertos polares, 6. Tundra muy húmeda, 8. Floresta espinosa subtropical, 9. Estepa templada fría, 15. Bosque seco subtropical, 16. Bosque seco templado cálido, 17. Selva húmeda tropical, 18. Selva húmeda subtropical, 19. Bosque húmedo templado frío, 21. Bosque boreal húmedo, 22. Selva muy húmeda subtropical, 23. Bosque muy húmedo templado cálido, 24. Bosque muy húmedo templado frío, 25. Bosque boreal muy húmedo, 26. Selva pluvial tropical, 27. Selva pluvial subtropical, 28. Selva muy húmeda tropical, 29. Bosque pluvial templado cálido y 31. Bosque boreal pluvial.

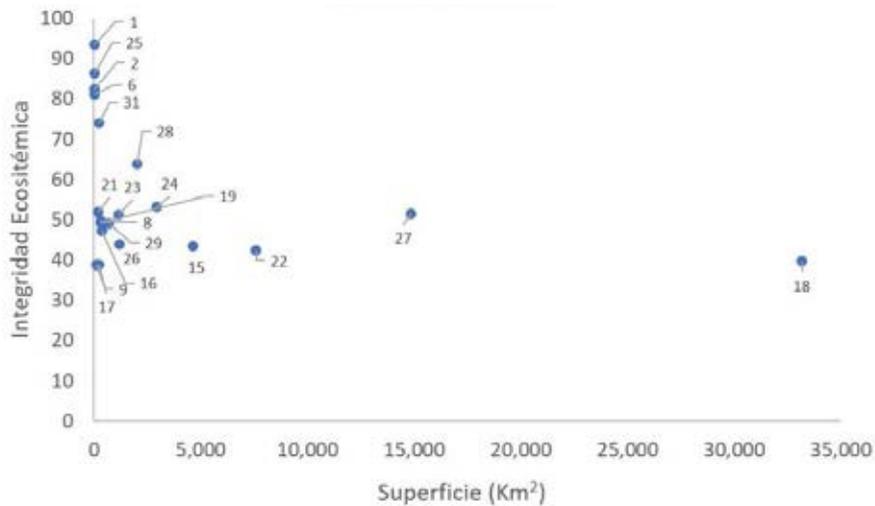
Fuente: Preparación propia de los autores. Clasificación de zonas de vida de acuerdo con Holdridge (1967) y nomenclatura de acuerdo con la Organización Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria (<http://www.iiasa.ac.at/>).

Figura 2. Integridad ecosistémica porcentual para el estado de Veracruz en 2014



Fuente: Preparación propia de los autores. Ver etiquetas de zonas de vida en Figura 1.

Figura 3. Superficie e integridad ecosistémica en 2014 de las zonas de vida de Holdridge para el estado de Veracruz



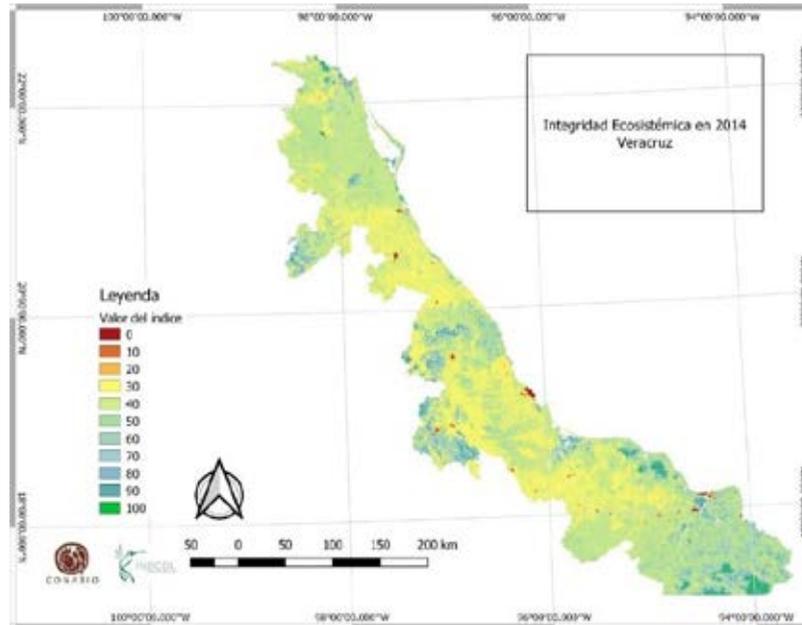
Fuente: Preparación propia de los autores. Ver etiquetas de zonas de vida en Figura 1.

En general, la condición en la que se encuentran los ecosistemas presentes en Veracruz es preocupante (Figura 4), tanto por el desafío que ejerce ahora el cambio climático como por la presión humana que los ha alterado en demasía. Podríamos pensar que es probable que gran parte de ellos estén muy cerca de sobrepasar los límites que permiten su autorregeneración a través de procesos funcionales inherentes a cada tipo. Dada esta situación, hoy resulta de alto riesgo tomar decisiones en las que sitios con relativamente poca integridad sean transformados por completo bajo el argumento de que si son sitios que ya se encuentran deteriorados es mejor aprovecharlos. La situación actual de degradación nos obliga a actuar de manera más estratégica y prudente, en especial si consideramos los escenarios más plausibles de cambio climático.

En cada decisión debemos tener presente que no solo son importantes los sitios con alto nivel de integridad sino también aquellos que aún tienen el potencial de ser fuentes de regeneración de algún tipo de ecosistema y, por supuesto, aquellos que por estar muy cercanos a perderse en su totalidad, ya sea dentro del estado, la región, el país e incluso el planeta, requieren de un cuidado especial. Para esto, usar el índice de integridad ecosistémica es congruente con las recomendaciones hechas por las instancias internacionales como ONU medioambiente, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, en lo que se refiere a diseñar estrategias

de adaptación al cambio climático basadas en ecosistemas.⁸ Incluso, puede ser utilizado como un *proxy* que estima las existencias de capital natural en un lugar y tiempo determinados. Extendiendo esta idea se puede apreciar que dicho índice puede ser útil para la contabilidad de la dinámica del desarrollo documentado a través de las cuentas nacionales.

Figura 4. Integridad ecosistémica para el estado de Veracruz en 2014



El número cero indica nula integridad y el 100 plena.

Fuente: Preparación propia de los autores.

Hasta hace poco México no contaba con un marco conceptual y una herramienta metodológica que permitiera evaluar la condición de los ecosistemas con un alto nivel de resolución. Pero gracias a los avances tecnológicos y a los arreglos institucionales para la obtención y procesamiento de más y mejores datos (García *et al.*, 2017), el país tiene hoy la capacidad para evaluar esta condición mediante la plataforma informática que se está desarrollando en la CONABIO.

En este sentido, el programa Integralidad Gamma (i-Gamma) iniciado en el INECOL en colaboración con la CONABIO, y al que algunas otras instituciones se han sumado recién, busca construir opciones para identificar de forma oportuna el cambio ambiental y realizar intervenciones de política pública más eficaces y eficientes. A partir del marco conceptual en torno a la integridad ecosistémica y de la información que se está produciendo, será

⁸ <https://goo.gl/UsLfke>

posible diseñar medidas de mitigación y adaptación más certeras. Por un lado, la obtención de datos sobre estructura y función de los ecosistemas será fuente importante de información para la elaboración de inventarios sobre la acumulación de carbono y responder con ello a compromisos internacionales enfocados a la mitigación del cambio climático. En cuanto a adaptación, la plataforma permitirá, por ejemplo, identificar con mayor precisión las zonas importantes para la protección, por ejemplo, contra huracanes. Hasta ahora, el papel de resguardar los ecosistemas ante estos eventos se ha llevado a cabo con base en tipos de ecosistemas, principalmente manglares. No obstante, se ha encontrado que la presencia de otros tipos de vegetación, como las selvas secas tropicales y las selvas húmedas, también está relacionada con menores daños a la infraestructura de interés humano causados por tormentas tropicales (Pérez *et al.*, 2018). Lo anterior permite sugerir que no es el tipo de vegetación *per se* el que tiene un efecto de protección, sino las características estructurales que lo conforman. Consideramos que con esta plataforma será posible determinar cuáles son esas particularidades e identificar su distribución espacial para delimitar, identificar y diseñar intervenciones de adaptación mediante protección o restauración ecológica en sitios vulnerables.

Los modelos de distribución potencial ante condiciones de cambio climático han sido herramientas útiles para predecir alteraciones importantes en la flora y en la fauna de los ecosistemas veracruzanos. Sin embargo, pronosticar de qué manera las modificaciones en la distribución afectarán la estructura y función de los ecosistemas y cómo esto repercute en las acciones encaminadas a la mitigación y adaptación ante el cambio climático, son preguntas difíciles de responder dada la complejidad inherente a estos sistemas.

En este sentido, la plataforma de información que está impulsando el programa i-Gamma puede ser de gran ayuda en al menos dos sentidos. Por un lado, permitirá dar seguimiento a los cambios en integridad y su interacción con políticas de mitigación y adaptación. Por otro lado, también podría utilizarse para formular escenarios con distintos parámetros de forzamiento radiativo y con ello analizar en qué grado las nuevas condiciones de cambio climático alterarán la integridad de los ecosistemas. Pensamos que con su uso será posible dar seguimiento a las predicciones de modelos, evaluar su confiabilidad y, con base en ese conocimiento, elaborar un manejo adaptativo en donde la obtención de información permitirá mejorar no solo los modelos, sino también las decisiones que tomemos. Cabe resaltar que, si deseamos que las acciones de adaptación y de mitigación del cambio climático sean exitosas a largo plazo, estas deben tener en cuenta la capacidad de regeneración de los ecosistemas, la que depende de manera inversa del grado de degradación que han

experimentado. A partir de estos conceptos tendrán que surgir las propuestas de adecuaciones que conviene realizar al PVCC.

Mitigación y adaptación al cambio climático

La variación del uso de suelo, la sobreexplotación de recursos naturales y la contaminación son reconocidas entre las causas principales de la pérdida de biodiversidad que sufre el estado, lo mismo que el cambio climático asociado con las actividades humanas. Bajo escenarios de cambio climático, los pronósticos para la situación de la biodiversidad a nivel mundial son desalentadores (IPCC, 2007; Day *et al.*, 2008). En Veracruz habrá reacomodos de las especies de forma individual y con ello cabe esperar la formación de nuevos tipos de vegetación y la desaparición de algunas de las configuraciones actuales. Desde ahora es posible observar que ya se están presentando algunas modificaciones importantes en la vegetación, como es el caso de los bosques perennes de manglares con nuevas distribuciones en el Golfo de México (Yáñez *et al.*, 2009).

Política pública basada en evidencia: una propuesta

El PVCC establece una serie de acciones relacionadas con las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático sobre el tema de biodiversidad, algunas de las cuales la plataforma i-Gamma podrá atender directamente o facilitar su ejecución o seguimiento, tales como: establecer un sistema de rastreo continuo e información para la toma de decisiones sobre cambio climático y biodiversidad del estado, orientar políticas de restauración y reforestación, programas de monitoreo, protección forestal y vigilancia sobre cambio de uso del suelo en el estado, fortalecer la capacidad institucional de los municipios veracruzanos para responder al cambio climático e identificar áreas de conectividad ambiental y de rehabilitación de ecosistemas degradados.

Conclusiones-recomendaciones

Evaluaciones recientes indican que el cambio climático puede convertirse en el principal factor de pérdida de biodiversidad, el cual, combinado con el aumento en la intensidad de uso del suelo podría alterar la capacidad de los ecosistemas para funcionar de manera autorregulada.

El cambio climático no solo afectará la distribución de las especies, también puede disminuir la diversidad genética y modificar la red de interacciones en las comunidades biológicas, lo cual con probabilidad alterará la provisión de muchos servicios que suministran los ecosistemas y, en consecuencia, afectará la salud y el bienestar de la población (McMichael *et al.*, 2006). Así pues, los impactos del cambio climático se pueden percibir a partir de variaciones en los patrones de distribución y abundancia de las especies o como alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas. Tal sería el caso de la dispersión de semillas por la imposibilidad de ser realizada por la fauna o bien la pérdida de polinizadores que no permitirá la renovación de la vegetación y el funcionamiento de ecosistemas y agroecosistemas. Ambos cambios están entrelazados y representan una severa amenaza para la viabilidad de los sistemas económicos y sociales.

En Veracruz, como en el resto del país, se aprecia que existe escasa accesibilidad a información apropiada y oportuna sobre la condición actual de los ecosistemas y los cambios ocasionados por las intervenciones humanas. Esto limita el impacto de las acciones que se diseñan para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. A su vez, esto ocasiona altos costos ambientales, sociales y económicos, que afectan la calidad de vida de los veracruzanos y obstaculizan la identificación e implementación de alternativas de desarrollo. La búsqueda de un desarrollo sustentable es la mejor manera de enfrentar los desafíos del cambio climático, así como las otras dimensiones del cambio ambiental global que ha originado la humanidad.

La necesidad por desarrollar nuevos enfoques analíticos que auxilien a equilibrar las múltiples y con frecuencia contradictorias metas públicas y privadas de desarrollo es urgente, al mismo tiempo que se mantiene la integridad de los ecosistemas. Ante la creciente presión de las actividades humanas sobre ellos es crucial evaluar la condición en la que se encuentran, como una opción para propiciar su conservación y un manejo responsable. La capacidad de estimar la condición de los ecosistemas es fundamental, pues prácticamente toda acción humana implica su modificación. Por lo tanto, proponemos que el concepto de integridad ecosistémica que se ha ilustrado en este ensayo es un instrumento innovador que puede ayudar a medir el impacto de las actividades humanas con suficiente exactitud como para monitorear su evolución a lo largo del tiempo y de la geografía veracruzana.

Proponemos las siguientes recomendaciones:

- Veracruz, con una degradación del 43 % de su capital natural, requiere con urgencia conservar los atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas que permiten su autorregulación.

- Apoyarse en la Estrategia de Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad en Veracruz, pues ofrece una visión a largo plazo que identifica acciones y actores que deben encargarse coordinadas de diseñar políticas para conservar y usar de forma sustentable el capital natural de la entidad.
- Construir una visión holística de desarrollo sustentable que permita hacer frente a las nuevas condiciones que el cambio climático impone en el estado, e integrarla a un diseño de políticas públicas que reconozca que las opciones de desarrollo del estado dependen en alto grado de las existencias de capital natural presente.
- Incorporar el concepto de integridad ecosistémica como noción clave para el mantenimiento del capital natural y su posibilidad de aprovechamiento para un desarrollo sustentable.
- Reconocer la dependencia entre la oferta de servicios ambientales y la integridad funcional de los ecosistemas e incorporar esta visión en los esquemas de valoración, planeación y regulación hacia un enfoque de gestión ambiental basada en ecosistemas.
- Desarrollar las capacidades y acuerdos institucionales para aprovechar el acceso y uso de la plataforma i-Gamma, así como generar programas de difusión y capacitación sobre el uso de la plataforma.

Agua y cambio climático

*Eric Houbron, Michel Canul Chan, Gloria Inés González López,
Abril Rodríguez Guzmán, Elena Rustrián Portilla
Facultad de Ciencias Químicas de Orizaba, Universidad Veracruzana
ehoubron@uv.mx, mcanul@uv.mx, giglzlz2@hotmail.com, abrilrg708@gmail.com, erustrian@uv.mx*

*Víctor Hugo Buendía Díaz
Coordinación para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana
vbuendia@uv.mx*

Resumen

En este texto se analizan las causas de por qué, como consecuencia del cambio climático, se verá disminuido el escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos y, por lo tanto, la disponibilidad de agua, lo que se sumará al estrés hídrico que producirá el crecimiento poblacional y económico previsto para finales de este siglo. Por ejemplo, un efecto esperado por el cambio climático se dará en la producción de alimentos, ya que, al elevarse la temperatura, la evapotranspiración también aumenta, y con ello los cultivos son sometidos a un mayor estrés térmico, impactando de manera drástica su rendimiento.

Preámbulo

El agua está en el centro del desarrollo sostenible y resulta fundamental para el crecimiento socioeconómico, los ecosistemas saludables y la supervivencia humana. Este recurso resulta vital al momento de reducir la carga mundial de enfermedades, mejorar la salud, el bienestar

y la productividad de las poblaciones, así como para la producción y la preservación de una serie de beneficios y servicios de los que gozan las personas. También, el recurso hídrico está en el corazón de la adaptación al cambio climático (CC), sirviendo de vínculo crucial entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente. El agua puede suponer un desafío serio para el desarrollo sostenible, pero gestionada de manera eficiente y equitativa puede jugar un papel facilitador clave en el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas sociales, económicos y ambientales a la luz de cambios rápidos e imprevisibles.

En la actualidad, vivimos escenarios inéditos que nos obligan a replantear los principios en que se basa nuestro desarrollo. Por un lado, tenemos un clima global cambiante, consecuencia de la degradación ambiental por la actividad humana a lo largo de muchas décadas, pero que también es causa de potenciales hambrunas y migraciones por catástrofes naturales. Por otro lado, tenemos inequidad y pobreza a pesar de un aumento global del nivel de vida gracias al progreso económico. Así, conciliar estos aspectos es el objetivo de un desarrollo sostenible (Strange y Bayley, 2012).

¿Quién nació primero, el huevo o la gallina?

En efecto, cuando hablamos de agua y CC: ¿cuál de los dos impacta en el otro? Una gestión inadecuada del recurso hídrico genera gases de efecto invernadero (GEI), los cuales acentúan el calentamiento global, y después provoca variaciones climáticas (CC) que tienen repercusiones sobre el mismo recurso hídrico.

El culpable es el cambio climático

En la mente popular se requiere siempre una explicación y en este caso un responsable para todos los fenómenos observados. Hoy en día, frente a las consecuencias de un huracán, unas inundaciones, una sequía, es común escuchar que el responsable es el CC. Lo que los científicos ya explicaron. Sin embargo, es poco común oír una reflexión popular madura sobre la parte de responsabilidad de las actividades del hombre en los fenómenos climatológicos extremos observados.

Como bien lo mencionan Romo *et al.* (2009), en nuestra vida moderna, la relación que mantenemos con el agua resulta ser bastante superficial. Rara vez pensamos en ella de forma profunda, salvo cuando el servicio de agua se suspende en casa, cuando mi ciudad se

inunda o cuando me da diarrea por agua contaminada. Solo entonces vemos lo necesaria que es, es algo que necesitamos tener a nuestro alcance, si es que queremos sobrevivir y disfrutar de confort.

Nuestra forma de vida ocasiona buena parte de los problemas ambientales y la sociedad en conjunto recibe las consecuencias. Podemos considerar que la cuestión general que hasta ahora se ha vivido en materia ambiental es que la mayoría de la gente no sabe cómo actuar efectivamente ante situaciones como un tiradero de basura que contamina tanto el aire como los cuerpos de agua, o bien la deforestación de un bosque que provee servicios ambientales, como la captura de agua para nutrir los manantiales, la retención de suelos o la captura de dióxido de carbono (CO₂) que ayuda a contrarrestar los efectos del calentamiento global. Si posicionamos esto en el contexto cotidiano de la gente, pocos relacionan las consecuencias del consumismo sobre la degradación del ambiente, la extracción forzada de todos los recursos naturales, la generación permanente de residuos de todos tipos, los efectos sobre los ciclos biogeoquímicos, el calentamiento global, el CC y, por ende, la degradación de las condiciones de vida en nuestro entorno.

La relación de la civilización occidental con el agua proviene de un conjunto de usos desproporcionados de este vital líquido. Por ejemplo: para fines de usos urbanos e industriales el consumo del agua está basado en la premisa de que los humanos podemos usarla sin discriminación como agente para “limpiar”, tanto en actividades cotidianas como industriales y sociales.

En la cultura occidental, el agua, como el resto de los elementos de la naturaleza, es concebida como un recurso que nos pertenece, como una sustancia que ha sido despojada de todas sus propiedades ecológicas, electromagnéticas, arquetípicas y creativas, como una mercancía. En otras palabras, el agua es tan solo la molécula H₂O, una sustancia inodora, incolora e insípida, un recurso que solo adquiere valor al ser utilizado con fines productivos por los seres humanos. Por último, de manera muy reduccionista y cándida, el planeta tierra es el vil almacén de recursos naturales disponibles para las necesidades del hombre, además del tiradero de todos los residuos urbanos, tóxicos, peligrosos, de manejo especial y radioactivos, sin olvidar al CC como único responsable de las condiciones extremas en las cuales tenemos que sobrevivir.

Por todo lo expuesto, es de suma importancia describir de manera simple pero objetiva las relaciones entre agua y CC, colocando las actividades antropogénicas en medio de esta reflexión. El objetivo de este capítulo es presentar un escenario en el que se examinen sucesivamente el CC, el problema del agua dulce, el agua residual, el clima y los sistemas

biofísicos, los cuales están interconectados de manera compleja. Por consiguiente, la variación de uno de esos factores podría inducir un cambio en cualquiera de los demás. Los asuntos relacionados con el agua dulce son críticos a la hora de determinar vulnerabilidades clave, tanto a nivel regional como sectorial, por lo que la relación entre el CC y los recursos de agua dulce es fundamental para la sociedad humana y tiene implicaciones para las demás especies vivas.

El agua es vida

El agua es indispensable tanto para el desarrollo socioeconómico como para la salud de los ecosistemas; sin embargo, al abrir la llave de agua no parece ser tan preciada. ¿Es en verdad necesario interesarse en un recurso que todos consideramos gratuito, o casi, y sobre todo inagotable?

El agua, de preferencia de buena calidad, no solo es necesaria para el bienestar de la sociedad, es indispensable para la sobrevivencia. Las recomendaciones oficiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS) hacen referencia a 50 litros de agua por día por persona, pues si bien un ser humano puede sobrevivir casi un mes sin alimento, no lo hará más de una semana sin agua.

De la misma manera que el agua regula la temperatura de la tierra, también regula la temperatura corporal de los seres vivos y elimina las toxinas del cuerpo. Dos litros de agua diarios son indispensables para vivir de manera sana. Eso representa un volumen de agua ingerida de 75 000 litros a lo largo de una vida.

No solo los humanos requerimos de agua, sino más bien todos los seres vivos, nuestro ambiente y los ecosistemas dependen de esta disponibilidad. El agua es un componente esencial para la vida, la salud de nuestros cuerpos, para los ecosistemas y la salud de nuestro ambiente.

El agua en cifras

Nuestro planeta se ganó el nombre de planeta azul porque el agua dulce y salada ocupa más del 70 % de su superficie, por lo que se estima que la cantidad presente en la tierra es de 1 386 millones de km³ (CONAGUA, 2016). La mayor parte del líquido (97.5 %) se encuentra bajo una forma salada en los océanos, mientras que 2 % está en los glaciares y los casquetes polares. El último porcentaje se reparte entre las aguas subterráneas, los lagos, los mares interiores,

los arroyos y los ríos. Se estima que solo 0.77 % se encuentra como agua dulce accesible al ser humano y faltaría sumar a la cuenta 0.001 % de este maravilloso volumen, bajo la forma de vapor de agua atmosférica. Aunque podría parecer un valor modesto, este vapor de agua transportada por las nubes juega un papel importante en la regulación del clima. Primero, participando en el efecto invernadero natural y después alimentando de forma permanente el ciclo de las precipitaciones. Es el gran ciclo del agua. El *stock* atmosférico de vapor, tan crucial para el equilibrio del clima, es garantizado por la evaporación de todas las superficies de agua del planeta: los océanos, por supuesto, pero también los suelos o la transpiración de los vegetales (evapotranspiración).

Es importante resaltar que la disponibilidad natural media per cápita de agua en México era, en el año 1950, de 18 035 m³/hab./año y en 2013 pasó a 3 982 m³/hab./año (PNH 2014-2018); cifra calificada como baja por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo en comparación con otros países (Figura 1). Si bien parte de esta reducción de la disponibilidad se debe principalmente al aumento de la población, la cual se incrementó de 25.8 a 118.4 millones, para el periodo de 1950 a 2013, no debemos olvidar que las demandas de agua son cada vez más importantes, por lo que se genera un desfase entre la disponibilidad y la demanda.

Figura 1. Disponibilidad natural media per cápita de agua en algunos países (m³/hab./año)



Fuente: FAO, 2013. Base de datos AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fuente: FAO, 2009. Base de datos AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

El hombre en el gran ciclo del agua

El agua es el principal componente del cuerpo humano, el cual que posee 75 % de agua al nacer y cerca del 60 % en edad adulta. Cerca del 65 % del líquido se encuentra en el interior de las células y el resto circula en la sangre y baña los tejidos. Es imprescindible para la existencia del ser humano, ya que no puede estar sin beber agua más de cinco o seis días, sin poner en riesgo su vida; por ello, el acceso a dicho recurso potable para la sobrevivencia ocupa una posición especial en el ciclo biogeoquímico del agua.

El agua es un recurso finito indispensable para la salud pública, los ecosistemas, la biodiversidad, la producción de alimentos, la industria, la energía y el desarrollo económico, principalmente. El vital líquido está presente en todas las actividades del hombre, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicio. En el mundo, y en específico en México, los usos del agua se reparten máxime en cuatro actividades: la agricultura (76.3 %), el abastecimiento público (14.6 %), la industria (4.3 %) y la producción de energía (4.8 %). Para el periodo 2006 a 2015 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2016) reporta que 61.1 % del agua utilizada para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que 38.9 % restante corresponde a fuentes subterráneas (acuíferos), representando un volumen total de 85.7 km³. Tras el primer uso de estas aguas, el volumen extraído es desechado con un grado de contaminación variable e impacta de forma directa en el medio ambiente y, en consecuencia, en nuestra calidad de vida.

La sociedad civil en contadas ocasiones relaciona sus actividades diarias con el consumo de agua y de energía. Para producir, la sociedad, la industria y la agricultura consumen grandes cantidades de agua, lo cual es indisociable al consumo de energía para extraerla y transportarla, así como a la generación y descarga de aguas residuales. Al momento de adquirir un bien o un servicio, todavía es poco común incorporar las huellas hídrica y energética en los criterios de adquisición. Por lo tanto, al no definir un valor real a los recursos naturales y tampoco visualizar sus participaciones en nuestra vida diaria es poco probable encontrar un comportamiento ambientalmente responsable o un consumo consciente. En otras palabras, las actividades antropogénicas afectan de un modo directo los ciclos biogeoquímicos, en particular el del agua y el del carbono, ambos relacionados en su totalidad a la generación de gases de efecto invernadero y al CC.

Para incidir en la formación de comunidades, en el Plan Nacional Hídrico 2014-2018 (PNH2014-2018) del Gobierno de la República Mexicana están reflejadas no solo las estrategias y líneas de acción para las políticas públicas, sino también la conciencia colectiva del agua

de los mexicanos y las aspiraciones del camino por seguir para llegar a la gestión integrada y la adecuada gobernanza de los recursos hídricos. Por ello es fundamental recabar y sintetizar las conceptualizaciones de la sociedad en relación con el agua como un recurso escaso y no renovable, estratégico y a la vez fundamental para respaldar el crecimiento económico y social, además de servir como motor para el desarrollo sustentable local, regional, nacional y global.

Agua y el cambio climático

Agua residual

Las principales fuentes de contaminación de agua en México, según Arreguín *et al.* (2016), tienen su origen en los residuos líquidos y sólidos que se arrojan a los sistemas de alcantarillado, a ríos y lagos, así como en las descargas de los centros urbanos y las industrias a las áreas agrícolas. Se estima que en la actualidad se generan en México 431.7 m³/s de aguas residuales municipales y no municipales, de las cuales reciben tratamiento 40.5 % y 15.85 %, respectivamente. El impacto de estas descargas se refleja en los cuerpos receptores y, por ende, sobre el cuadro y calidad de vida de los humanos.

La demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) y la demanda química en oxígeno (DQO) son indicadores del grado de contaminación de las aguas residuales, mediante los cuales se determina la cantidad de oxígeno necesario para mineralizar por completo la materia orgánica en CO₂.

El agua residual doméstica se caracteriza por contener los residuos de un conjunto urbano, que incluyen las heces y orina humanas, los asociados al aseo personal y los generados en la cocina y la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes y grasas. Según lo reportado por Metcalf & Eddy Inc. (2004), el agua residual urbana (ARU) presenta una concentración promedio en DQO de 500 mg/l, lo que se traduce en un requerimiento de 500 mg de oxígeno para cada litro de agua residual para mineralizar toda la materia orgánica y cerrar el ciclo del carbono.

Algunas actividades antropogénicas (Del Real Olvera *et al.*, 2011; Alvarado *et al.*, 2008; Houbroun *et al.*, 2016) pueden generar aguas residuales con mayor carga contaminante,

por ejemplo la industria quesera (2 000 hasta 70 000 mg DQO/l), las destilerías (190 000 mg DQO/l) y la industria cervecera (2,000 mg DQO/l).

Un cuerpo de agua limpia a 20 °C presenta una disponibilidad en oxígeno máxima de 9 mg/l. Por ello, al descargar agua residual (AR) doméstica o agroindustrial sin tratamiento previo a un cuerpo receptor sano, además de afectar su calidad, podemos evaluar la desproporción entre la demanda y la disponibilidad de oxígeno y las consecuencias asociadas, por lo regular catastróficas, para el medio ambiente y de gran impacto para el CC.

Eutrofización

La eutrofización es un proceso complejo y natural que generalmente ocurre en los lagos de montaña sobre periodos equivalentes a milenios, y que se puede sintetizar por un taponamiento por el fondo de un cuerpo de agua (Houbron, 2010). Sin embargo, cuando se observa en ríos, lagos de baja altitud y lagunas, la situación es preocupante, pues en este caso se trata de una sucesión de procesos y características de un cuerpo receptor contaminado.

Este complejo fenómeno se genera cuando un AR se vierte sin tratamiento en un cuerpo de agua sano y no contaminado. Estas descargas traen diversas cantidades de materia orgánica (DQO y DBO₅) y nutrientes tales como nitrógeno y fósforo. La presencia de estos compuestos y de energía solar permite a las algas fotosintéticas desarrollarse en la superficie del cuerpo de agua, y así se reduce la transferencia del oxígeno desde la atmósfera hacia la fase líquida del cuerpo receptor. En paralelo, la presencia de materia orgánica favorece el desarrollo microbiano en el seno de la columna de agua y eso ocasiona que todo el oxígeno disuelto presente sea utilizado para la oxidación de esta materia orgánica (carbono exógeno). En consecuencia, la falta de oxígeno provoca la muerte de todos los organismos aerobios, como los peces. En este momento empieza la sedimentación y la acumulación en el fondo tanto de los organismos vegetales como de los peces. Las condiciones de anoxia permiten el inicio de fermentación del sedimento, constituido en su mayor parte de materia orgánica, y entonces se liberan gases como los que desprenden los vapores del ácido sulfhídrico, amoníaco, metano y dióxido de carbono. Estos gases, una vez liberados a la atmósfera, generan olores fétidos y participan ampliamente al efecto invernadero.

Además de la degradación de la calidad del cuerpo de agua, la descarga sin tratamiento previo de las aguas residuales a los ríos genera una producción y liberación sin control de metano a la atmósfera. Por estequiometría, cada kilogramo de materia orgánica tiene el potencial de generar 350 l de metano, es decir, que las AR de una ciudad de 100 000 habitantes,

a razón de 150 l de estas por habitante y una concentración promedio en DQO de 500 mg/l representan un potencial de producción y liberación a la atmósfera de 2 625 m³ de metano.

Es de suma importancia señalar que el metano tiene un efecto invernadero hasta 32 veces superior al del CO₂ y que el consumismo con que se comportan en la actualidad nuestras sociedades, así como la suma de todas las actividades antropogénicas, son generadoras de contaminación y, por ende, de producción en condición no controlada de gases de efectos invernadero (GEI).

Producción de GEI

De la producción de los GEI, 2.8 % provienen de los desechos y tratamiento de las aguas residuales; sin embargo, la mayor parte de la materia orgánica sólida o líquida depositada al medio ambiente se hace de manera no controlada, por lo cual, la transformación anaeróbica de la materia orgánica genera sin control GEI, como el CH₄, el cual tiene una capacidad de absorción del calor 70 veces superior a la del CO₂.

Sobre un ciclo de 100 años, aunque naturalmente una molécula de metano se destruye con mayor rapidez que el CO₂ en la atmósfera (casi 10 años son requeridos para el CH₄ y 100 años para el CO₂), sería, por un lado, más fácil y eficiente reducir la generación de residuos mediante la concientización del consumo consciente y, por otro lado, convertir la materia orgánica de las aguas residuales y residuos sólidos orgánicos mediante, por ejemplo, un proceso de digestión anaerobia en condición controlada y transformar por medio de la combustión el CH₄ producido en CO₂. Tras observar el elemento agua del antropoceno hacia el CC, en los apartados siguientes se propone observar la otra mitad del gran ciclo y cuáles son las consecuencias del CC sobre nuestro cuadro de vida.

Cambios climáticos en relación con el agua (IPCC-VI)

En respuesta a una propuesta de la Secretaría del Programa Mundial sobre el Clima-Agua (PMCAgua), el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) redactó un documento técnico sobre el CC y el agua, el sexto de la serie de documentos técnicos del IPCC (Bates *et al.*, 2008).

El clima, el agua dulce y los sistemas biofísicos y socioeconómicos están interconectados de manera compleja, por consiguiente, la variación de uno de esos factores podría inducir un cambio en cualquiera de los demás. Los asuntos relacionados con el agua dulce son críticos a la hora de determinar vulnerabilidades clave, tanto a nivel regional como sectorial, por ello, la relación entre el CC y los recursos de agua dulce es fundamental para la sociedad humana, y tiene implicaciones para las demás especies vivas. El agua está relacionada con todos los componentes del sistema climático global (atmósfera, hidrosfera, criosfera, superficie terrestre y biosfera). Por ende, el CC impacta al agua mediante diversos mecanismos.

El calentamiento climático observado en los últimos años está correlacionado con las variaciones de diversos componentes del ciclo y de los sistemas hidrológicos tales como cambios en las pautas, intensidades y valores extremos de precipitación, fusión generalizada de la nieve y del hielo, aumento del vapor de agua atmosférica, incremento de la evaporación y variaciones de la humedad del suelo y de la escorrentía.

Los registros de observaciones y las proyecciones climáticas aportan evidencia abundante de que los recursos de agua dulce son vulnerables y pueden resultar gravemente afectados por el CC, con muy diversas consecuencias para las sociedades humanas y los ecosistemas.

Precipitación y vapor de agua

Las tendencias de la precipitación terrestre han sido analizadas con base en diversos conjuntos de datos y grupos de trabajo reconocidos. Las simulaciones mediante modelos climáticos concuerdan en plantear para el siglo XXI un aumento de la precipitación en latitudes altas (muy probable) y parte de los trópicos, y una disminución en algunas regiones subtropicales y en latitudes medias y bajas (probable). Fuera de esas áreas, el signo y magnitud de los cambios varían de un modelo a otro, dando lugar a una incertidumbre considerable respecto de los cálculos de lluvias. Así pues, las proyecciones de las variaciones futuras de la precipitación son más fiables para unas regiones que para otras, pues los modelos concuerdan menos a medida que disminuye la escala espacial.

En todo el mundo se ha observado un aumento de los episodios de lluvia intensa (por ejemplo, por encima de 95 %), incluso en lugares donde la cantidad total ha disminuido, asociado a un incremento de vapor de agua en la atmósfera, que se corresponde con el calentamiento señalado. Estudios teóricos y de modelización del clima sugieren que en

un clima cada vez más cálido por el ascenso de GEI, se esperaría un mayor número de precipitaciones extremas respecto de su valor medio.

El contenido de vapor de agua de la troposfera se ha elevado en los últimos decenios, en consonancia con el calentamiento examinado y con una humedad relativa casi constante. Dado que es probable que el calentamiento advertido de la temperatura de la superficie del mar sea en gran parte antropogénico, podría pensarse que esta influencia ha contribuido al acrecentamiento del vapor de agua atmosférico sobre los océanos.

Nieve y hielo terrestres

La criosfera (constituida por la nieve, el hielo y el suelo congelado) almacena en tierra firme cerca del 75 % del agua dulce del planeta. En el sistema climático tanto esta como su evolución están vinculados de manera compleja al balance de energía en la superficie, al ciclo hídrico y a la variación del nivel del mar.

Las proyecciones indican, con un nivel de confianza alto, que las reservas de agua almacenada en los glaciares y en la capa de nieve disminuirán durante este siglo, reduciendo la disponibilidad de agua durante los periodos calurosos y secos. Esto debido a un cambio estacional del caudal fluvial, a un aumento de las aportaciones invernales, al total anual y a reducciones de los caudales menores en regiones dependientes del deshielo en las principales cordilleras montañosas, en las que en la actualidad vive más de la sexta parte de la población mundial.

Al calentarse el clima durante el siglo XXI, los glaciares y casquetes de hielo perderán masa a causa del predominio del deshielo estival sobre el aumento de la precipitación invernal. Según los resultados de simulaciones a 11 glaciares, situados en diversas regiones del mundo, su volumen disminuiría 60 % de aquí al año 2050 (Schneeberger *et al.*, 2003).

Nivel del mar

El promedio mundial del nivel del mar ha aumentado entre mediados del siglo XIX y mediados del XX. El incremento estimado fue de 1.7 ± 0.5 mm/año en el siglo XX, 1.8 ± 0.5 mm/año durante 1961-2003, y 3.1 ± 0.7 mm/año entre 1993 y 2003. En términos espaciales el cambio es muy poco uniforme, ya que, por ejemplo, durante 1993-2003 el ritmo de ascenso fue en algunas regiones varias veces superior al promedio mundial, mientras que en otras los niveles del mar descendieron.

En cuanto a la estimación de las aportaciones al cambio del nivel del mar a largo plazo hay imprecisiones. En el periodo 1993-2003, la contribución de la dilatación térmica (1.6 ± 0.5 mm/año), de la pérdida de masa de glaciares y casquetes de hielo (0.77 ± 0.22 mm/año) y de la pérdida de masa de los casquetes de hielo de Groenlandia (0.21 ± 0.07 mm/año) y de la Antártida (0.21 ± 0.35 mm/año), ascendió en total a 2.8 ± 0.7 mm/año. En ese periodo, la suma concuerda con el aumento del nivel del mar señalado, y estos valores caen o se ubican dentro del margen de incertidumbre de las observaciones.

El aumento del nivel del mar podría afectar a las regiones costeras, aunque su atribución no es clara todavía. El incremento mundial experimentado desde 1975 por los valores extremos del nivel del agua está relacionado tanto con el aumento medio del nivel del mar como con la variabilidad climática interdecadal en gran escala (Woodworth y Blackman, 2004).

Evapotranspiración

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de agua, expresada en mm/día, que es evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. En general, cuando se analiza esta suma se hace referencia a la cifra que se obtiene en un balance de humedad en el suelo; sin embargo, existen muy pocas mediciones directas en las áreas terrestres de nuestro planeta.

El Tercer Informe de Evaluación (TIE) indica que la ETR aumentó durante la segunda mitad del siglo XX en la mayoría de las regiones secas de Estados Unidos de América y Rusia (Golubev *et al.*, 2001), debido a una notable disponibilidad de humedad en la superficie, vinculada al aumento de la precipitación y a una mayor demanda de humedad atmosférica por efecto del ascenso de temperatura.

Las variaciones dependen no solo del aporte de humedad sino también de la disponibilidad de energía y del viento en superficie, así como de los efectos directos de la elevación de CO₂ atmosférico sobre la fisiología de las plantas. Todo incremento de la evapotranspiración tiene como consecuencia la generación de un déficit de humedad del suelo.

Humedad del suelo

La humedad del suelo es una fuente de inercia térmica, debido a su capacidad calorífica y al calor latente necesario para su evaporación. Por esa razón se ha sugerido que la humedad del suelo controla en gran medida, por ejemplo, la temperatura y la precipitación estivales. Los cambios en cuanto a la humedad del suelo dependen de la variación del volumen y de las fechas no solo de la precipitación, sino también de la evaporación (que puede resultar afectada por cambios en la vegetación).

Las proyecciones del contenido medio anual de humedad del suelo con frecuencia indican disminuciones en las áreas subtropicales y en la región mediterránea, frente a aumentos en el África oriental, en el Asia central y en otras regiones con mayores niveles de precipitación, lo mismo que en latitudes altas, en las que se reduce la cubierta de nieve. Aunque la magnitud de los cambios es incierta en muchos casos, es coherente en muchas de esas regiones. Los resultados estacionales arrojan pautas de variaciones similares.

Escorrentía y caudal fluvial

Para mediados del siglo XXI las proyecciones indican que, como consecuencia del CC, la escorrentía fluvial promedio anual y la disponibilidad de agua aumentarían en latitudes altas y en algunas áreas tropicales húmedas, y disminuirían en ciertas regiones secas de latitudes medias y en regiones tropicales secas. Con un alto nivel de confianza se considera que muchas áreas semiáridas y áridas (por ejemplo, la cuenca mediterránea, el oeste de Estados Unidos de América, el sur de África o el nordeste de Brasil), en particular, están expuestas a los efectos del CC, y podrían experimentar una disminución de los recursos hídricos como consecuencia.

Pautas de variabilidad en gran escala

El sistema climático presenta cierto número de tendencias de variabilidad preferentes que influyen directamente en los elementos del ciclo hidrológico. Los climas regionales pueden experimentar un desfase debido a la acción de esas “teleconexiones”, las cuales con frecuencia se asocian a sequías y crecidas, así como a otros cambios que afectan de forma considerable a los seres humanos. Una “teleconexión” queda definida mediante un patrón espacial y una serie cronológica que describe variaciones de su magnitud y fase.

Un resumen de los efectos observados del CC respecto de los servicios hidrológicos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Efectos observados del cambio climático, junto con sus impactos observados/posibles respecto de los servicios hidrológicos

Efecto observado	Impactos observados/posibles
Aumento de la temperatura atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la disponibilidad del agua en cuencas alimentadas por glaciares en retracción.
Aumento de la temperatura superficial del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución del contenido de oxígeno disuelto, pautas de mezclado y capacidad de autodepuración. • Mayor número de floraciones de algas.
Aumento del nivel de mar	<ul style="list-style-type: none"> • Salinización de los acuíferos costeros.
Cambios en las pautas de precipitación	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de la disponibilidad del agua, debida a los cambios de precipitación y a otros fenómenos similares (por ejemplo: recarga de las aguas subterráneas, evapotranspiración).
Aumento de la variabilidad interanual	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor dificultad para controlar las crecidas y para utilizar los reservorios durante la estación de crecidas.
Aumento de la evapotranspiración	<ul style="list-style-type: none"> • Menor disponibilidad de agua. • Salinización de los recursos hídricos. • Disminución del nivel freático.
Aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos	<ul style="list-style-type: none"> • Las crecidas afectan a la calidad del agua y a la integridad de la infraestructura hidrológica. • Acentuación de la erosión fluvial, introduciendo así diversos tipos de contaminante en los recursos hídricos. • Las sequías afectan a la disponibilidad y calidad del agua.

Fuente: Bates *et al.*, 2008.

Jiménez *et al.* (2010) consideran que del IPCC-VI los puntos siguientes son de suma importancia para México:

- Efectos del CC en los recursos hídricos.
- Estudios de los efectos del CC en México.
- Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitaciones y temperatura en superficie.
- Efectos del CC en el ciclo hidrológico.
- Efectos del CC en la evapotranspiración de los cultivos en México.
- Repercusiones del CC en la agricultura de riego (maíz, café, etcétera).
- Impactos en la productividad de los cultivos.

Estos autores muestran, a partir de escenarios de CC, la disminución de la disponibilidad hídrica en México, ocasionada por precipitaciones menores en gran parte del territorio, así

como por la mayor evaporación de suelo, y la pérdida tanto de vegetación natural como de suelo, pero además como producto de los incrementos en la demanda de agua. Los autores señalan el elevado incremento en la demanda de agua por la agricultura y a la vez la disminución de la recarga natural de los acuíferos. En este contexto advierten que el principal reto consistirá en incorporar los efectos del CC en la planeación y gestión de los recursos hídricos, de manera que se puedan afrontar los efectos negativos, pero también aprovechar los positivos.

Para México se han realizado análisis sobre el posible impacto del CC en el recurso agua de algunas cuencas hidrológicas (Mundo y Martínez, 1994; Mendoza y Villanueva, 1997; Magaña y Conde, 2000). En la misma línea, Raynal y Rodríguez (2007) en el estudio “Posibles escenarios de impacto del cambio climático sobre la evapotranspiración potencial (ET) en la cuenca del río Conchos, México”, encontraron que para un incremento de la temperatura de 1 °C la evapotranspiración aumentará entre 3 y 3.5 % con respecto al valor actual, generando un déficit de humedad del suelo de entre 9 y 40 %; mientras que para un 3 °C la ET subirá entre 8.8 y 10 %, acrecentándose el déficit de humedad del suelo de 27.5 a 116 %.

En cuanto a Veracruz, en un estudio para la zona central encontraron que los escenarios de CC sugieren disminuciones en las precipitaciones, con rangos que van del 10 al 20 % respecto de los valores observados, y que la temperatura se elevará desde 1 °C al año 2020 hasta los 4 °C para el 2050, en promedio, lo cual repercutirá en la capacidad de infiltración de agua disponible para los cultivos de la región y ocasionará una mayor vulnerabilidad para la producción agrícola. Pereyra *et al.* (2008a), al establecer el balance hídrico para las cuatro regiones hidrológicas de la entidad, destacan que para conocer el estado que guardan los recursos hídricos es necesario hablar del ciclo hidrológico, término que incluye los procesos de evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de humedad en nubes, precipitación, acumulación en el suelo o cuerpos de agua y reevaporación.

Pereyra *et al.* (2011) afirman que un aumento en ETR causará un déficit en la humedad del suelo, lo que, aunado a la disminución de la precipitación, hará más crítica la demanda de agua, que de por sí ya lo es durante los meses de estiaje (marzo a mayo), por lo que se requerirá de una buena administración del recurso por parte de la CONAGUA, así como planear el almacenamiento del escurrimiento excedente durante la época de lluvia.

El cambio climático y los recursos hídricos, por sistemas y sectores (IPCC-VI)

Según los expertos del IPCC es importante proyectar los impactos del CC por sistemas y sectores productivos. A continuación se presenta un resumen de lo concretado en el VI reporte técnico, donde se plasmaron los impactos o consecuencias que enfrentan siete sectores ante el CC y los recursos hídricos.

Ecosistemas y biodiversidad

La temperatura y los regímenes de humedad son algunas de las variables clave que determinan la distribución, crecimiento, productividad y reproducción de plantas y animales. Los cambios hidrológicos pueden influir en las especies de diversas maneras, pero los procesos mejor conocidos son los que relacionan la disponibilidad de humedad con los umbrales intrínsecos que gobiernan los procesos metabólicos y reproductivos (Burkett *et al.*, 2005). Las modificaciones del clima previstas para los próximos decenios tendrán efectos diversos sobre la disponibilidad de humedad, en forma de alteraciones de los periodos de aparición y del volumen de los caudales fluviales, disminuciones del nivel de agua en numerosos humedales, extensión de los lagos de *termokarst* (lagos de deshielo de un glaciar) del Ártico o mengua de la disponibilidad de agua de niebla en los bosques de montaña tropicales. Las proyecciones de cambio hidrológico tendrán implicaciones sobre la biodiversidad mundial.

Las respuestas de los ecosistemas a las variaciones implican a menudo complejas interacciones entre procesos bióticos y abióticos. Los agregados de especies en comunidades ecológicas reflejan el hecho de que esas interacciones y respuestas no siempre son lineales, lo que agrava la dificultad de proyectar resultados ecológicos específicos. Dado que la cronología de las respuestas no siempre es sincrónica en especies pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos, podría sobrevenir un desacoplamiento entre especies y fuentes de alimentación, una alteración de las relaciones simbióticas u otras interacciones positivas entre especies o cambios en la competencia entre estas. Debido a una conjunción de respuestas diferenciales entre especies e interacciones que en teoría podrían establecerse en cualquier punto de una red alimentaria, algunas de las comunidades ecológicas actuales podrían con facilidad disgregarse en el futuro (Root y Schneider, 2002; Burkett *et al.*, 2005).

Los cambios hidrológicos generarían impactos directos o indirectos sobre los principales tipos de ecosistemas, tales como los lagos y cursos de agua, humedales de agua dulce, en las costas y estuarios, en los ecosistemas de montaña, y sobre los bosques, sabanas y pastizales.

La productividad de los sistemas agrícolas, forestales y piscícolas depende en su mayoría de la distribución temporal y espacial de la precipitación y de la evaporación, así como de la disponibilidad de recursos de agua dulce para el riego, en especial de cultivos.

El agua desempeña un papel crucial en la producción local, regional y mundial de alimentos. Por una parte, más de 80 % de las tierras agrícolas del mundo dependen de la lluvia, por lo cual la productividad de los cultivos está sujeta a la precipitación suficiente para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo (FAO, 2006).

Allí donde esas variables están limitadas por el clima, la producción agrícola es muy vulnerable al CC (FAO, 2006). Por otra parte, la producción mundial de alimentos depende del agua, no solo en forma de precipitación, sino también, fundamentalmente, en forma de recursos hídricos disponibles para el riego. De hecho, las tierras de regadío, que representan solo 18 % de las tierras agrícolas mundiales, producen mil millones de toneladas de cereales al año, que simbolizan casi la mitad del suministro mundial total; ello se debe a que los cultivos de regadío producen, en promedio, entre dos y tres veces más que los cultivos dependientes de la lluvia (FAO, 2006).

Mientras que un déficit excesivo de agua se traduce en vulnerabilidad de la producción, un exceso de agua también puede tener efectos no deseados sobre la productividad de los cultivos, ya directamente (por ejemplo, afectando a las propiedades del suelo y dañando el crecimiento vegetal), ya indirectamente (por ejemplo, impidiendo o retrasando las labores agrícolas necesarias). Los episodios de precipitación intensa, la humedad excesiva del suelo y las crecidas interfieren en la producción de alimentos y en los medios de subsistencia rurales a nivel mundial (Rosenzweig *et al.*, 2002).

Durante los próximos decenios, las presiones socioeconómicas darán lugar a una mayor competitividad entre las necesidades de riego y la demanda de los sectores no agrícolas, que podría reducir la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para la alimentación y aumentando todavía más la vulnerabilidad de algunas regiones por efecto del CC.

Los ecosistemas forestales ocupan cerca de 4 000 millones de hectáreas de tierras, una superficie comparable al conjunto de las utilizadas por cultivos y pastizales. De esas tierras, solo unos 200 millones de hectáreas están destinadas a la producción forestal comercial en todo el mundo (FAO, 2006). Los bosques son determinantes para el suministro, la calidad y la cantidad de agua, tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo. Su

importancia como cuencas de captación de agua puede aumentar de manera sustancial en los próximos decenios a medida que escaseen los recursos de agua dulce. Se sabe que los bosques contribuyen al ciclo hídrico regional, por lo que los cambios de uso de la tierra podrían afectar en gran medida a los climas locales y regionales (Harding, 1992; Lean *et al.*, 1996). Por otra parte, la protección de los bosques puede ser beneficiosa, ya que reduciría las sequías y las crecidas, en particular en los trópicos (Kramer *et al.*, 1997; Pattanayak y Kramer, 2000).

La repoblación forestal y la reforestación podrían intensificar la humedad, disminuir la temperatura y acrecentar las lluvias en las regiones afectadas (Harding, 1992; Blyth *et al.*, 1994); la deforestación, en cambio, puede reducir la lluvia a nivel local y elevar las temperaturas. En un futuro cercano, la alteración de la demanda y disponibilidad de agua por efecto del CC afectará en gran medida a las actividades agrícolas, a la seguridad alimentaria, a la silvicultura y a las pesquerías.

Salud humana

La salud humana, que abarca el bienestar físico, social y psicológico, depende de la adecuación del suministro de agua potable y de la seguridad del medio ambiente. Los seres humanos están expuestos al CC tanto directamente, a merced de las pautas meteorológicas (fenómenos extremos más intensos y frecuentes), como indirectamente, en virtud de los cambios experimentados en relación con el agua, el aire, la calidad y cantidad de los alimentos, los ecosistemas, la agricultura, los medios de subsistencia y la infraestructura. Dado el considerable número de personas que podrían verse afectadas por la malnutrición y la escasez de agua, estas podrían ser las consecuencias sanitarias más importantes del CC.

La salud de la población ha mejorado de forma notable los últimos 50 años, aunque sigue existiendo un importante desequilibrio sanitario en y entre los países. La salud deficiente agrava la vulnerabilidad y reduce la capacidad de adaptación al CC tanto de las personas como de las comunidades. Las poblaciones con altas tasas de enfermedades y de discapacidad afrontan con menos éxito los estreses de cualquier tipo, en particular los relacionados con el CC.

El Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento estima en la actualidad que 1 100 millones de personas (17 % de la población mundial) no tienen acceso a recursos hídricos, entendiéndose por tal la disponibilidad de un mínimo de 20 litros de agua por persona y día procedentes de una fuente de agua mejorada situada a menos de un kilómetro. La Organización Mundial de la Salud (OMS) cifra en 1.7

millones de muertes por año la carga total de enfermedad, debido a un suministro de agua inadecuado y a un saneamiento e higiene deficientes.

En las regiones afectables, la concentración de riesgo vinculada a la inseguridad tanto de los alimentos como del agua podría agravar en particular los impactos de cualquier fenómeno meteorológico extremo (crecidas o sequías) sobre las viviendas afectadas. La vulnerabilidad a las inundaciones es menor cuando existe una infraestructura para la eliminación de los desechos sólidos, para la gestión de las aguas de desecho y para el suministro de agua potable.

La falta de agua para usos higiénicos determina, en la actualidad, una gran parte de la carga de enfermedad mundial; de esta, una pequeña parte no cuantificada es imputable a la variabilidad climática o a los fenómenos meteorológicos extremos. La escasez de agua está asociada a una multiplicidad de consecuencias adversas para la salud, entre ellas las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua por materias fecales y otras sustancias peligrosas (parásitos), lo cual se ve reflejado en los niveles elevados de mortalidad y morbilidad infantil ocasionadas por la diarrea en países de bajos ingresos.

El CC agravará con seguridad la escasez de agua, pero es difícil evaluar en qué se traducirá esta situación a nivel doméstico, en términos de disponibilidad de agua y, por consiguiente, en términos de salud e higiene. La gestión de los drenajes y de las aguas pluviales derivadas de fenómenos extremos es importante en las comunidades urbanas de bajos ingresos, ya que la obstrucción del alcantarillado puede ocasionar inundaciones y facilitar la propagación de enfermedades transmitidas por vectores y del sistema digestivo (Parkinson y Butler, 2005). También hay evidencia de que los desastres relacionados con el clima afectan a la salud mental de las personas, tales como la ansiedad y depresión prolongadas.

El clima influye en la distribución espacial, en la intensidad de transmisión y en la estacionalidad de las enfermedades transmitidas por vectores como el paludismo, dengue (mosquito *Aedes aegypti*), zika y chikungunya, así como por el caracol de agua (por ejemplo, la esquistosomiasis). Ciertos padecimientos, como la helmintiasis, se transmiten mediante el consumo de productos que provienen de cultivos regados con aguas contaminadas o de desecho. La utilización de aguas fecales y residuales para el riego, que es una práctica común, tiende a ser una fuente de transmisión de enfermedades de transmisión fecal-oral.

En la actualidad, un poco más del 10 % de la población mundial consume productos de cultivos regados con aguas de desecho sin tratamiento previo. De acuerdo con el panorama antes mencionado, el aumento de la escasez de agua y de la demanda de alimentos, sumado a condiciones sanitarias deficientes, favorecerá la utilización de agua de baja calidad. Para

controlar estos problemas será necesario elaborar programas de tratamiento de aguas de desecho y planificar su reutilización.

Abastecimiento de agua y saneamiento

El acceso a un agua salubre hoy en día está considerado como un derecho humano universal; sin embargo, el mundo se está enfrentando con problemas cada vez mayores para la prestación del servicio de distribución de agua, en particular en los países en desarrollo. Ello se debe a varias razones, no del todo vinculadas al CC. La falta de agua disponible, una demanda cada vez más importante e irregular como consecuencia del aumento de la población en áreas concentradas, el crecimiento de la urbanización, la mayor intensidad de uso de agua para mejorar el bienestar general, y la necesidad de optimizar la gobernanza del agua, son variables que dificultan en demasía la prestación satisfactoria de los servicios de abastecimiento de agua.

En este contexto, el CC representa solo una carga adicional para los servicios de abastecimiento de agua potable y para cualquier otra organización que preste servicios hidrológicos con miras a satisfacer las necesidades de sus clientes. Aunque a nivel local es difícil identificar las consecuencias del CC, los efectos observados y las proyecciones constituyen un buen punto de partida para preparar el futuro.

Con base en lo observado, la disponibilidad menor de agua podría ser consecuencia de:

- a) La disminución del caudal en cuencas alimentadas por glaciares en retracción, y mayor duración y frecuencia de las estaciones secas.
- b) La disminución de las precipitaciones estivales, que conlleva un menor volumen de agua almacenada en reservorios alimentados por ríos estacionales (Du Plessis *et al.*, 2003).
- c) La variabilidad interanual de la precipitación, y cambios estacionales del flujo fluvial.
- d) La disminución del nivel de las aguas subterráneas no costeras.
- e) El aumento de la evapotranspiración por efecto de una mayor temperatura del aire, de una mayor duración del periodo de crecimiento y de un mayor uso de agua de riego.
- f) La salinización (Chen *et al.*, 2004).

En lo que se refiere a los servicios hidrológicos, las poblaciones más afectadas por el CC serán las situadas en las cuencas de África, región del Mediterráneo, Oriente Próximo, sur

de Asia, norte de China, Australia, Estados Unidos, centro y norte de México, nordeste de Brasil, y costa occidental de América del Sur, que ya padecen estrés hídrico. Los sectores más expuestos a este peligro serán los habitantes de diversas megalópolis, de áreas rurales muy dependientes del agua subterránea, de islas pequeñas, y de cuencas alimentadas por glaciares o por el deshielo de nieve (más de una sexta parte de la población mundial vive en cuencas sustentadas por agua de deshielo) (Alcamo y Henrichs, 2002; Ragab y Prudhomme, 2002).

A excepción de un pequeño número de países industrializados, el consumo de agua está aumentando en todo el mundo, debido al crecimiento demográfico y económico, a la evolución de los estilos de vida y al incremento de los servicios de abastecimiento de agua potable. Es importante implementar programas de uso de agua eficientes en las regiones en que es probable que disminuya la reserva, ya que podrían ser necesarias grandes inversiones para conseguir un suministro adecuado o la construcción de nuevos depósitos de almacenamiento o hacer uso de fuentes alternativas de agua. La disminución de su consumo podría retrasar, e incluso eliminar, la necesidad de infraestructura adicional. Una de las maneras más rápidas de incrementar la disponibilidad de este recurso consistiría en minimizar las pérdidas de las redes de abastecimiento urbanas y de los sistemas de riego. Otras alternativas que atenuarían la necesidad de nuevos suministros son la captación de agua de lluvia y la reutilización controlada. La protección de los recursos hídricos es una estrategia importante y eficaz, en términos de costo, para resolver los problemas de calidad del agua en el futuro.

Aunque ya es una práctica común en ciertos países, resultan necesarias nuevas metodologías para la gestión de la calidad del agua en todo el mundo. Una de ellas consiste en la implementación de planes de salubridad hídrica (PSH) que permitan evaluar y gestionar de forma integral los riesgos desde la cuenca de captación hasta el consumidor, como se propuso en la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés, 2005). Además, convendría examinar con periodicidad el diseño y funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua de abastecimiento y de desecho, en particular en áreas vulnerables, a fin de asegurar, incluso mejorar, su fiabilidad y capacidad para hacer frente a unas variaciones de flujo de magnitud incierta.

Como otras posibles soluciones al problema del agua de desecho, será necesario concebir estrategias que permitan a los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento hacer frente a caudales cada vez mayores y más variables. Por ejemplo, la utilización de sistemas descentralizados, la construcción de sistemas de alcantarillado independientes, el tratamiento de los reboses combinados del alcantarillado (es decir, la mezcla de aguas de desecho y escorrentía en las ciudades) o la inyección de agua de lluvia en el subsuelo. Dado el

costo elevado que conlleva la ampliación de capacidad de las plantas de tratamiento de aguas de desecho urbanas, convendría recurrir a métodos de financiación adecuados que tengan en cuenta las condiciones locales. En las áreas rurales, la cobertura de los saneamientos suele ser muy reducida, por lo que es necesario formular planes de actuación a nivel local basados en tecnologías de bajo costo, atendiendo a las condiciones locales y con participación de la comunidad.

Asentamientos e infraestructura

Los cambios respecto de la disponibilidad de agua, su calidad, las características de la precipitación, y la probabilidad y magnitud de las crecidas desempeñarán un papel importante en la materialización de los efectos del CC sobre los asentamientos humanos y la infraestructura (Klein *et al.*, 2003; Sherbinin *et al.*, 2007).

Los lugares del planeta en que más peligra el suministro de agua dulce por efecto del CC son las islas pequeñas, los países áridos y semiáridos en desarrollo, las regiones que obtienen el agua dulce de ríos alimentados por la fusión de los glaciares o por el deshielo estacional, los países con una alta proporción de tierras bajas costeras y las megalópolis costeras, en particular la región de Asia y el Pacífico (Alcamo y Henrichs, 2002; Ragab y Prudhomme, 2002).

El aumento de la densidad de población en los lugares de alto riesgo, como las áreas costeras y ribereñas, es muy probable que agrave la vulnerabilidad a los efectos hídricos del CC, en particular, a los daños ocasionados por crecidas y tempestades, y a la degradación de la calidad del agua por efecto de la intrusión salina. De igual manera, es posible que los asentamientos cuya economía esté muy vinculada a actividades sensibles al clima y dependientes del agua, como la agricultura de regadío, el turismo acuático o el esquí sobre nieve, sean particularmente vulnerables al impacto del CC sobre los recursos hídricos (Elsasser y Burki, 2002; Hayhoe *et al.*, 2004). Asimismo, la infraestructura asociada a los asentamientos abarca edificios, redes de transporte, instalaciones costeras, infraestructura de abastecimiento de agua y de agua de desecho y redes de distribución de energía eléctrica.

Economía: seguros, turismo, industria, transporte

El clima y los recursos hídricos afectan a varios sectores económicos secundarios y terciarios, como los seguros, la industria, el turismo o el transporte. Los efectos hídricos del CC sobre

esos sectores podrían ser positivos o negativos, pero los fenómenos meteorológicos extremos y otros cambios abruptos tienden a afectar a los sistemas humanos con mayor fuerza que los cambios graduales, en parte porque se dispone de menos tiempo para adaptarse a ellos.

Las pérdidas experimentadas a nivel mundial ponen de manifiesto el rápido aumento de los costos por efecto de fenómenos meteorológicos extremos desde los años 70. En el sector financiero, los riesgos relacionados con el CC son contemplados cada vez más en determinados sectores “susceptibles”, como las centrales hidroeléctricas, la irrigación y la agricultura, incluso el turismo (UNEP/GRID-Arendal, 2002). En este último sector, la disponibilidad de agua podría modificarlo en sentido positivo o negativo, pues por ejemplo, más nieve atraería a más turistas en las montañas y más calor a más amantes de las playas (Braun *et al.*, 1999; Uyarra *et al.*, 2005).

Los seguros diversifican el riesgo y coadyuvan a la adaptación, mientras que la gestión de los fondos de aseguramiento tiene implicaciones respecto de la mitigación. De todo lo expuesto, con una visión hacia el final del presente siglo, de no adoptarse medidas mundiales de mitigación suficientes, el incremento de la temperatura puede alcanzar hasta 5 °C tan solo en nuestro país, con efectos en potencia desastrosos para el medio ambiente y las actividades productivas (Jiménez *et al.*, 2010).

Es de esperarse una combinación negativa de la disminución de disponibilidad hídrica, ocasionada por menos precipitaciones en la mayor parte del país, mayor evaporación del agua presente en el suelo y pérdida tanto de vegetación natural como de suelo e incremento de la demanda de agua, en especial para el riego, el cual consume 77 % de los recursos hídricos en uso en México. Los autores señalan el elevado incremento en la demanda de agua por la agricultura y a la vez la disminución de la recarga natural de los acuíferos sobreexplotados y los que en la actualidad están en equilibrio. El estrés térmico ocasionado por el calentamiento global disminuirá la productividad de los cultivos más importante del país, lo que alterará también su ciclo fenológico. El aumento de la temperatura incrementará y en consecuencia la tendencia a la eutrofización en lagos y embalses. El reto principal consiste en incorporar los efectos del CC en la planeación y gestión de los recursos hídricos, por lo que, en términos generales, el sector hídrico de México deberá realizar un enorme y costoso esfuerzo de adaptación, en el que serán necesarios cambios profundos en instancias institucionales y legales que impacten en una gestión más eficiente y sustentable de los recursos hídricos.

Ecogestos para el ambiente

Tras haber visto en detalle que el agua y el CC están interrelacionados, que nuestro planeta alberga un tejido de vida interconectada llamado ecosistema, del cual el hombre forma parte y depende de él para sobrevivir, y que estos se encuentran en peligro, amenazando en consecuencia nuestro modo de vida, surge una pregunta; ¿qué se puede hacer? Si pertenecemos a la especie *sapiens* tenemos que reaccionar. Existen muchos gestos para evitar que empeore la situación y prepararnos a los cambios que están por venir.

A continuación, se enlistan algunos de los gestos posibles. Proporcionar tal lista puede parecer moralista; sin embargo, el objetivo no es apuntar con el dedo, sino más bien informar sobre las alternativas de soluciones. En general, estos ecogestos no son limitantes, al contrario, podrían ser benéficos para la salud y la economía familiar. Muchas veces solo se requiere ir un poco más allá de las costumbres, salir de la zona de confort hacia una nueva zona de aprendizaje; en otras palabras, transformarse para transformar al mundo.

- Consumir agua con moderación y evitar los desperdicios.
- Reducir el consumo de energía.
- Alimentarse sanamente, consumir productos regionales y limitar el consumo de carne.
- Limitar la producción de residuos sólidos o líquidos.
- Adoptar reflejos ecológicos en el trabajo y en el hogar.
- Practicar actividades ecológicas.
- Fomentar y practicar el consumo consciente.
- Asumir compromisos en la vida pública.
- Calcular y reducir el impacto propio al ambiente (huella ecológica).

Conclusión

Como lo mencionan Martínez y Patiño (2012), el CC afectará en esencia los recursos hídricos disponibles en el mundo. Las series históricas, consideradas hasta ahora como representativas del ciclo hidrológico local, no serán suficientes para la gestión futura del agua, por lo que será necesario contar con mejores modelos basados en escenarios de CC. Estos autores resumen que en las latitudes en las que se ubica México, los efectos esperados del CC serán un incremento

importante de temperaturas (superior a 3 °C) y una disminución en los niveles de precipitación (superior al 15 % en promedio nacional anual). Como consecuencia, se verá disminuido el escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos y, por lo tanto, la disponibilidad de agua, lo que se sumará al estrés hídrico que producirá el crecimiento poblacional y económico previsto para finales de este siglo.

En la cuenca del río Conchos (principal río del estado de Chihuahua), por ejemplo, se esperan disminuciones en su escurrimiento de cerca del 23 %. Otro efecto esperado será en la producción de alimentos, ya que, al elevarse la temperatura, la evapotranspiración también aumenta, y con ello los cultivos son sometidos a un mayor estrés térmico, impactando de manera drástica su rendimiento. Así, a la luz de estos resultados se recomienda diseñar y priorizar acciones de adaptación a los efectos del CC en las regiones hidrológicas más vulnerables de México, y con ello el planteamiento de políticas públicas que permitan a las futuras generaciones contar con las condiciones mínimas de sustentabilidad hídrica en el país.

El sector agropecuario: causante y mitigante

Carlos R. Cerdán Cabrera, Gustavo Ortiz Ceballos, Paulo Cesar Parada
Posgrado en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrícolas,
Universidad Veracruzana
ccerdan@uv.mx, gusortiz@uv.mx, cepala1@hotmail.com

Mario J. Gómez Martínez
Laboratorio de Ecoagricultura, Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios, Facultad
de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Colombia

Resumen

México será uno de los países más afectados por el cambio climático y Veracruz, debido a su ubicación en el Golfo de México, podría ser uno de los estados que más sufran por el aumento en la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos. Los sistemas de producción agropecuarios de la entidad veracruzana están basados en el monocultivo y la ganadería extensiva, por lo que son considerados sistemas de baja resiliencia y de alta vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático. Las estrategias que se proponen para enfrentar los efectos del cambio climático sugieren el tránsito del enfoque basado en el monocultivo y ganadería extensiva a otro sustentado en acciones de diversificación e implantación de prácticas agroecológicas, que contribuyan a la mitigación y adaptación al cambio climático. Estas modificaciones son claves para incrementar la resistencia y resiliencia de los sistemas agropecuarios y, al mismo tiempo, para mejorar su productividad y capacidad de autosostenerse. Se destaca la importancia de generar planes regionales de adaptación y mitigación al cambio climático, utilizando datos climáticos locales y considerando el contexto productivo y socioeconómico para así poder recomendar las mejores prácticas agrícolas y

pecuarias. El documento concluye con una lista de recomendaciones y acciones que deberían ser tomadas en cuenta para avanzar en la adaptación del sector agropecuario al cambio climático.

Antecedentes

El potencial agropecuario, forestal y pesquero de Veracruz es indiscutible, ya que es una de las entidades con mayor riqueza natural, pues encontramos prácticamente todos los ecosistemas de México. De hecho, entre Veracruz, Chiapas y Oaxaca, conforman la región con mayor biodiversidad del país; asimismo, sobresale por su vocación agropecuaria, forestal y pesquera. Del total de su superficie, casi dos millones de hectáreas (27.4 %) se dedican a la agricultura, 3.3 millones (46.9 %) a la ganadería, 1.3 millones (17.8 %) se encuentra bajo cobertura forestal y el resto a otros usos (9.1 %). El estado ha ocupado primeros lugares nacionales en la producción de cítricos, caña de azúcar, café, arroz, piña, chayote, limón persa, mango, papaya, maíz, frijol, haba, vainilla, plátano, copra, entre otros cultivos importantes para la alimentación de la población nacional, para exportación y materia prima que permite el abastecimiento de agroindustrias (Plan Sectorial Estatal de Veracruz, 2006-2008).

No obstante, el estado adolece de viejas cuestiones que se agudizaron a partir de la década de los 80 del siglo pasado, cuando el gobierno federal cambió su política hacia el campo retirando los subsidios y cerrando instituciones claves del sector. Estos problemas seculares son: la creciente improductividad de los suelos, impactos como consecuencia de los periodos de sequías, inundaciones o pérdidas por fenómenos meteorológicos que se presentan con mayor frecuencia, los altos costos de los insumos de producción, la falta de tecnificación y nuevos brotes de plagas y enfermedades. Por lo general, estas dificultades técnicas han sido enfrentadas con el uso intensivo de los medios de producción (“tecnificando el campo”) y mediante prácticas de manejo que afectan los recursos naturales; por ejemplo, perforando pozos para riego a cada vez mayor profundidad, aumentando las dosis de fertilizantes, utilizando pesticidas (fungicidas, herbicidas, nematocidas, etcétera) de cada vez mayor concentración o complejidad en las moléculas de sus principios activos, cambiando el uso de suelo de áreas boscosas a cultivos intensivos, incrementando la superficie de agricultura protegida (invernaderos, casa-sombras, macrotúneles, etcétera). Este modelo de producción tiene múltiples repercusiones ambientales: suelos erosionados y con menor fertilidad, baja productividad agrícola, agrobiodiversidad reducida y amenazada, agotamiento de los mantos

freáticos y aguas superficiales contaminadas, cobertura forestal eliminada o degradada y pérdida de ecosistemas originales.

La situación problemática de la producción agropecuaria trasciende los aspectos técnicos-ambientales porque estos se vinculan estrechamente con factores económicos, sociales, históricos e institucionales haciéndola aún más compleja. Algunos de estos factores son la falta de oportunidades para acceder al financiamiento para la producción, descapitalización del sector productivo agropecuario, insuficiente asistencia técnica, bajo nivel de adopción de la tecnología, poco apoyo a la investigación agropecuaria, atomización de la tierra, ausencia de canales de comercialización, desintegración de los eslabones de la cadena productiva, insuficiente desarrollo de la infraestructura rural relacionada con la producción y transformación de los productos agropecuarios, alta migración de la población rural, inseguridad, envejecimiento y feminización del medio rural y baja rentabilidad de la actividad agropecuaria. Todos estos factores, en conjunto, se traducen en baja productividad y pobreza (moderada y extrema) presentándose con más énfasis en la población asentada en las regiones de montaña de Veracruz, donde se encuentran los más altos índices de marginación del estado (CONAPO, 2019). Se añade a este difícil panorama del sector agropecuario del estado, su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático (IPCC, 2013). Por lo anterior, la problemática del sector debe ser atendida mediante soluciones integrales enfocadas a mejorar su productividad y que propicien una mayor resiliencia ante los impactos del cambio climático.

Considerando el contexto del sector agropecuario antes explicado, el presente documento analiza la vulnerabilidad del sector agropecuario de la entidad ante el cambio climático y agrega una serie de recomendaciones generales para el diseño de planes de mitigación y adaptación a los eventos extremos del clima.

Con base en las estadísticas gubernamentales oficiales reportadas en el Atlas Agroalimentario 2017, México es el duodécimo país productor de alimentos a nivel mundial. Dentro de esta importancia internacional, Veracruz sobresale por ser el que dedica más superficie a la agricultura (más de dos de las 24 millones de hectáreas productivas del país). Si a esta cantidad se le suman las más de 3.7 millones de hectáreas dedicadas a la actividad ganadera, nos damos cuenta de que entre 75 y 85 % del territorio se encuentra dedicado a actividades agrícolas o pecuarias (Ellis *et al.*, 2010). Dicha extensión se encuentra con diferente nivel de riesgo ante el cambio climático, tanto por su ubicación como por las características propias del monocultivo y la ganadería extensiva que dominan en el estado.

Producción agrícola

Los principales cultivos, ordenados por su porcentaje dentro de la producción nacional, son piña, toronja, naranja, caña de azúcar, limón, café, tabaco, plátano, arroz, papaya, sandía y palma aceitera (Tabla 1). Destaca la concentración de la superficie dedicada a la piña, ya que solo se reporta en tres municipios (Isla, Juan Rodríguez Clara y José Azueta), con una superficie aproximada de 32 000 hectáreas, que producen 52 % de las piñas de México (y prácticamente 1.5 % de las del mundo). Si se agrupan la toronja, el limón y la naranja en la categoría cítricos una gran proporción de la producción se concentra en el centro y norte del estado.

Tabla 1. Principales cultivos producidos en Veracruz, en relación con la producción nacional, para el año 2018

Cultivo	Lugar en la producción nacional	Porcentaje producido respecto del total nacional	Toneladas producidas
Piña	1°	66.3 %	875 839
Toronja	1°	52.1 %	258 997
Naranja	1°	43.3 %	2 368 501
Caña de azúcar	1°	33.1 %	19 987 541
Limón	1°	30.8 %	716 955
Café	2°	23.2 %	192 341
Tabaco	2°	13.6 %	1 373
Plátano	3°	12.3 %	325 564
Arroz	4°	11.9 %	26 969
Papaya	4°	10.2 %	104 479
Sandía	4°	8.6 %	91 174

Fuente: Elaboración propia con datos consultados en el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2018).

En cuanto a los cultivos que podrían sembrarse en Veracruz encontramos el cacao y la palma de aceite. Algunos estudios señalan el potencial de diversas regiones de la entidad para ambos, debido principalmente a las condiciones agroecológicas óptimas para la producción (Espinoza *et al.*, 2015; SAGARPA, 2017). Se trata de dos productos con mucho potencial para ser promovidos, pero contrastantes en su relación con el cambio climático, así como con la conservación de la diversidad biológica. Por un lado, la palma de aceite se produce en plantaciones que requieren superficies grandes, lo cual significa favorecer la deforestación de las pocas selvas que quedan. La zona más viable señalada es el sur del estado, donde aún quedan unas 600 000 hectáreas remanentes de selva alta y mediana, en específico en las regiones de Los Tuxtlas y el Uxpanapa (Ellis *et al.*, 2010), que corren el riesgo de ser sustituidas

por el monocultivo de palma de aceite. Estas acciones de deforestación incrementarían las emisiones de dióxido de carbono y otros gases a la atmósfera. En cambio, la producción de cacao en México se realiza sobre todo en sistemas agroforestales; esto significa que el cultivo se asocia con otros árboles. Se ha reportado que el centro y norte de la entidad tienen un alto potencial para la siembra de cacao. Si se promueve sustituyendo cultivos con menos cobertura arbórea (caña, potreros o cítricos, por ejemplo), la producción de cacao en sistemas agroforestales sería una acción de mitigación para el cambio climático.

Recientemente se ha difundido la instalación de una planta procesadora de café soluble en Veracruz. Aunque no hay información oficial, las notas periodísticas mencionan que esta requerirá de entre 20 000 y 80 000 hectáreas de *Coffea canephora* (café robusta) (Moreno, 2018). Dependiendo de cómo y dónde se establezcan estas hectáreas será su relación con el cambio climático; si es en zonas planas, bajas y que se encuentran con menor cobertura arbórea (por ejemplo, donde hay cañaverales menores a 700 m s. n. m.) entonces los efectos serán positivos, ya que este cultivo, según como sea manejado, puede almacenar, después de 10 años, alrededor de 50 toneladas de carbono por hectárea (Dossa *et al.*, 2008). Esto sería secuestro de carbono adicional, ya que hoy en día la actividad cañera es emisora de dióxido de carbono (CO₂), pues por las quemas realizadas para su cosecha se emiten alrededor de nueve toneladas de CO₂ equivalentes por hectárea, que considerando toda la huella de carbono puede llegar a más de 17 toneladas por hectárea (Reinosa *et al.*, 2018). Sin embargo, si estas nuevas hectáreas plantadas con café robusta sustituyeran a los cafetales arábigos de zonas medias (de entre 700 a 1 000 m s. n. m.) se tendrían emisiones de CO₂ por deforestación y cambio de uso de suelo. En la actualidad, los cafetales arábigos de la región centro de la entidad tienen almacenado, solo en la biomasa aérea, un promedio de 65 toneladas de CO₂ por hectárea (Ortiz, 2004).

Existen otros cultivos que también son importantes para el estado. Claramente en cada uno de ellos se deberá revisar en específico cuáles son las mejores prácticas agrícolas para mitigar y adaptarse al cambio climático. Por ejemplo, Veracruz es el quinto productor nacional de papa, soya y manzanas (SIAP, 2018), pero son sistemas de cultivo muy vulnerables al cambio climático. También es el séptimo productor de copra, cultivo que está aumentando en superficie debido a la obtención de aceite de coco. El octavo productor de ajonjolí, así como de mango (aunque destaca por ser el primer productor de mango manila). Además, produce más de un millón y cuarto de toneladas de maíz, lo que lo ubica como el noveno a nivel nacional (SIAP, 2018).

Los anteriores son los cultivos de mayor importancia por su aporte a la economía y dieta nacional; no obstante, existen miles de productores que tienen diferentes unidades de

producción, donde se encuentran diversos cultivos. El que no sean importantes a nivel estatal, no quiere decir que no enfrenten retos debido al cambio climático.

En suma, Veracruz destaca por su producción agrícola, ya sea por el volumen de producción o por la superficie dedicada a algunos de los sistemas agrícolas. Actualmente existen miles de veracruzanos que día a día enfrentan desafíos en el manejo de sus cultivos a causa de los efectos del cambio climático. La Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA-2017) del INEGI reporta que 74.7 % de los productores de México ha manifestado tener pérdidas en la cosecha o de animales por causas climáticas, en orden de importancia: sequías (45 %), vientos (32 %), humedad excesiva (26 %), granizo (16 %), heladas (14 %), bajas temperaturas (13.5 %), inundaciones (11 %) e incendios naturales (2 %).

Producción ganadera

La producción ganadera es quizá la actividad más importante de la entidad, debido a la superficie dedicada a los pastizales, pues se estima que existen 3 600 000 hectáreas dedicadas a la ganadería extensiva; esto es más de la mitad de la superficie del territorio. Obviamente, somos el primer productor de ganado vacuno del país, obteniéndose para el año 2017 más de 250 000 toneladas de carne (12.5 % del total nacional) (SIAP, 2018), operadas en los más de 76 rastros que existen en el estado. Aunado a esto, Veracruz produce 11.7 % de la carne porcina a nivel nacional.

Existen otras dos actividades pecuarias que también se encuentran amenazadas por el cambio climático en las que Veracruz destaca: la producción de gallinas (2° lugar nacional) y la producción de miel (4° lugar nacional); actividades importantes en cuanto a la economía, pero no en superficie. La primera porque la mayoría de las gallinas crecen en ambientes controlados (patios a pequeña escala, granjas a gran escala), y la segunda porque la mayoría de la producción de miel del estado es una actividad trashumante, que se caracteriza porque los productores de miel sitúan las colmenas siguiendo la época de floración de diversos cultivos presentes en el estado.

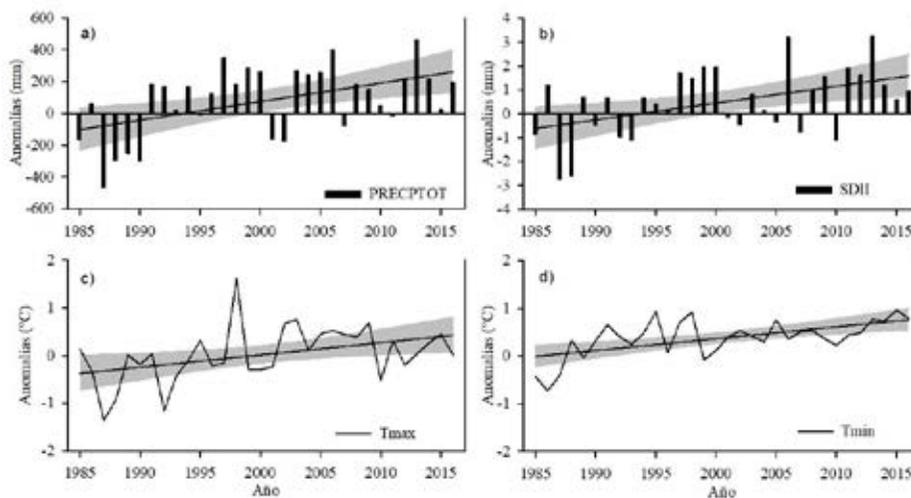
Por último, aunque no es una actividad pecuaria como tal, Veracruz destaca a nivel nacional en la producción de pescados y mariscos, en especial atún (5° lugar), mojarra (6°), sardina (6°), pulpo (7°) y camarón (8°) (SIAP, 2018). Estas actividades son extractivas, por lo general fuera de la superficie continental, donde se desconocen aún qué efectos pueda tener el

cambio climático. Sin embargo, debe considerarse, tanto por ser una actividad económica, la cual sufrirá consecuencias, como por el impacto en la dieta nacional.

Cambio climático en Veracruz

De acuerdo con estudios realizados, se prevé que la frecuencia de precipitaciones intensas o la cantidad de lluvias totales, derivadas de precipitaciones intensas, siga incrementando en muchas zonas del planeta durante el siglo XXI (IPCC, 2014; Moreno y Urbina, 2008). Para el sureste mexicano se sugiere una reducción de aproximadamente 5 % en la precipitación anual durante el presente siglo, la cual ocurriría sobre todo en invierno y verano, mientras que en otoño podrían presentarse ligeros incrementos. Asimismo, la temperatura ascendería entre 0.88 °C y 4 °C (Cavazos *et al.*, 2013; INECC, 2014). Para el estado de Veracruz se ha detectado el incremento en la frecuencia de días calurosos y disminución de los días frescos (Vázquez *et al.*, 2008; Figura 1).

Figura 1. Tendencias de anomalías anuales de eventos extremos de precipitación (a y b) y de temperatura (c y d) de la zona Xalapa-Coatepec, periodo 1985-2016



Fuente: Información del SMN.

El sector agrícola ante el cambio climático

Como ya fue señalado con anterioridad, el uso del suelo del estado es principalmente ganadero (47 %) y agrícola (27 %). La mayoría de sus sistemas de producción agrícola presentan alta vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático porque están basados en el monocultivo. Azus (2012), al evaluar el impacto de la variabilidad climática en la producción agrícola en diversos estados costeros de México, demuestra que existe una relación significativa –a largo plazo– entre la producción agrícola de dichos estados y las temperaturas máximas y mínimas, así como en los modos de variabilidad climática estudiadas. Aunque no hay una explicación simple de la forma en que estas variaciones climáticas influyen en el sistema agrícola, algunos autores como Rosenzweig y Hillel (2018) sugieren que los impactos negativos se manifiestan por un incremento en el tipo y abundancia de las plagas y enfermedades asociadas con las temperaturas más bajas o más altas de lo normal; así, se espera mayor aporte de nutrientes y acumulación de los mismos en el suelo como consecuencia en la modificación de los patrones de la lluvia, intensificación de los procesos de degradación de los suelos como resultado de una mayor humedad retenida o de temperaturas más altas de lo normal durante mayores periodos, repercusiones en el ciclo de vida de los cultivos y en sus etapas fenológicas (periodos de floración, maduración de frutos, estrés hídrico, entre otros), impactos sobre organismos polinizadores, mayor oxigenación de las raíces de algunos cultivos por aumento de la actividad de organismos excavadores (lombrices, hormigas, etcétera), entre otros factores que deberán ser estudiados para tipos específicos de cultivo en diferentes regiones del estado.

Una de las estrategias para enfrentar el cambio climático es desarrollar sistemas agrícolas que demuestren mayor resiliencia, para ello es necesario romper con el enfoque de monocultivo de los sistemas agrícolas, introduciendo estrategias de diversificación e implantación de prácticas agroecológicas. Esto permitirá restituir procesos ecológicos naturales tales como el reciclaje óptimo de nutrientes y acumulación de materia orgánica, activación biológica del suelo, flujos cerrados de energía, conservación de agua y suelo y balance de las poblaciones de plagas y enemigos naturales; todos ellos procesos claves para incrementar la resistencia y resiliencia de los agroecosistemas al cambio climático, además de mejorar su productividad y capacidad de autosostenerse.

La dependencia a los sistemas de producción de monocultivos homogéneos ya no es social, económica y ecológicamente deseable, ya que estos sistemas comprometen la biodiversidad, utilizan los recursos de manera ineficiente, son muy dependientes de energía fósil, imprimen una huella ecológica inmensa, son susceptibles a plagas y en demasía

vulnerables a la variabilidad climática (Thiessen *et al.*, 2015). Otra causa subyacente del cambio climático local o regional, y que a la larga incide en el global, se asocia con el cambio de uso de suelo de bosques y sistemas agroforestales a sistemas con poca o nula cobertura arbórea, como son los monocultivos, los pastizales y los desarrollos urbanos. Esta variación de uso de suelo a escala local puede tener efectos en el microclima de un hábitat mucho más drásticos que el cambio climático a escala global.

De manera oficial, en el estado de Veracruz los impactos del cambio climático en la agricultura se han reportado desde 2010, con la publicación de la Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático, así como en 2011 cuando se estableció el Consejo Veracruzano para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. En la Agenda Sectorial de Cambio Climático del Estado de Veracruz 2012-2016 para la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SEDARPA) y para la Secretaría del Medio Ambiente, se enumeran diversas acciones puntuales, orientadas tanto a la mitigación de emisiones como a prácticas de adaptación; sin embargo, debido al saqueo gubernamental la mayoría de esas acciones establecidas a la fecha no han sido ejecutadas.

El sector ganadero

Los impactos ambientales procedentes de la ganadería son indirectos y directos (McCarthy *et al.*, 2001). Además, estos difieren de manera sustancial entre ganadería de baja escala, común en países subdesarrollados, y la producción ganadera industrializada, frecuente en países desarrollados (Mohammed y Awan, 2012). Es frecuente encontrar casos de contaminación terrestre cuya fuente principal es la descarga de nutrientes, materia orgánica, patógenos y residuos farmacológicos a los cuerpos dulceacuícolas y costeros procedentes de sistemas ganaderos basados en el pastoreo o estabulados (Singh *et al.*, 2017). Asimismo, los animales y sus excreciones emiten gases (principalmente metano) que inciden en el cambio climático. Otra causa del impacto de la ganadería es la emisión de gases por la conversión de bosques y selvas a zonas de pastoreo y tierras de cultivo destinadas a la producción de alimentos para el ganado, con lo cual se transforman y moldean paisajes enteros y reducen los hábitats naturales (Mondal y Reddy, 2018).

Se estima que el sector ganadero a nivel mundial es responsable del 18 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), del 37 % de las emisiones de metano (CH₄) y del 65 % de las emisiones de óxido nitroso (N₂O) (Mohammed y Awan, 2012). Las de este

último GEI continuarán en aumento en las próximas décadas, debido a que las tierras de pastoreo se expanden de forma apresurada en la mayoría de las regiones, y todo apunta a que, a corto plazo, la propagación de este sector se basará cada vez más en los cultivos forrajeros (Mohammed y Awan, 2012). En México, la ganadería bovina aporta en mayor medida a las emisiones de metano generadas por el manejo de estiércol, que fueron para el 2015 de casi 71 000 toneladas de CO₂, equivalentes al 10 % de las emisiones del país (INECC, 2018b). Lo mismo ocurrirá en los cuerpos de agua y en la dinámica hídrica, donde el impacto será muy marcado, a razón de que el sector pecuario consume 8 % del agua del planeta, principalmente para la irrigación de los cultivos forrajeros (FAO, 2006).

Aunque la producción ganadera podría considerarse como una causa del cambio climático, también es, al mismo tiempo, una “víctima” por efectos directos e indirectos (Singh *et al.*, 2017). Por ejemplo, entre los efectos directos están la alteración en el rango de la temperatura que causa estrés calórico, induciendo en el ganado cambios de comportamiento y alteraciones metabólicas, que al final afectan la salud del animal, la eficiencia de la alimentación, el crecimiento, las tasas de reproducción y la producción de leche (Sirohi y Michaelowa, 2007). En ocasiones extremas, los hatos ganaderos mueren por eventos climáticos intensos de corta duración, como olas de calor y huracanes (Bett *et al.*, 2017).

Asimismo, alteraciones climáticas en la temperatura y los regímenes de lluvia pueden provocar la propagación de enfermedades y parásitos a nuevas regiones, o aumentar su incidencia, afectando con severidad la productividad ganadera (Bett *et al.*, 2017). Hoy en día, a nivel mundial, se estima que las enfermedades del ganado reducen la productividad 25 %, siendo los ganaderos más pobres quienes tendrán mayores pérdidas (CIAT-CCAFS, 2015). Los efectos indirectos de los cambios provocados por el clima en el rendimiento animal se deben sobre todo a alteraciones en el entorno nutricional (Sirohi y Michaelowa, 2007). Los cambios en el clima afectarían la calidad y cantidad del forraje producido, lo que se reflejaría en la disponibilidad y el precio de los recursos alimenticios del ganado.

En general, el efecto de la temperatura en la producción ganadera es multifactorial (Singh *et al.*, 2017), lo que hace que su estudio sea complejo. No hay suficiente información que describa los procesos clave implicados en la causa de la enfermedad (Bett *et al.*, 2017), además, se carece de suficientes datos fiables del clima y el padecimiento a largo plazo, la influencia del mercado y otros aspectos socioeconómicos y demás mecanismos que afectan la producción ganadera (Patz *et al.*, 2005).

Estrategias de resiliencia

Es necesario contar con programas de medición ininterrumpida de variables climáticas, con amplia cobertura espacial y periodicidad adecuada. Esto permitirá generar bases de datos confiables, accesibles y públicas que contribuyan a tomar decisiones desde el ámbito local, además de que los datos climáticos locales permitirán una mejor orientación de programas y políticas públicas.

Las instancias correspondientes encargadas del desarrollo agropecuario del estado deberán priorizar el establecimiento de diseños de sistemas de producción agroecológica. Esto significa diseñar agroecosistemas complejos, los cuales, a diferencia del monocultivo, deben basarse en modelos de producción agrosilvopastoriles, establecimiento de policultivos, sistemas agroforestales, silvopastoriles, polifrutales, entre otros. Este tipo de agroecosistemas, al integrar una diversidad de plantas y animales en una dinámica genética, espacial y temporal, aseguran la multifuncionalidad de las especies y, por lo tanto, contribuyen a una mayor resiliencia al cambio climático (Nichols *et al.*, 2015). Debido a su complejidad, estos además tienen una mayor producción de biomasa, así como mayor autorregulación ecológica en comparación con los monocultivos (Vázquez *et al.*, 2012). Aunado a esto, los agroecosistemas complejos también, a escala de cuencas, favorecen la heterogeneidad de la matriz del paisaje (De Schutter, 2010) restaurando procesos ecológicos. Cuanto mayor es la diversidad vegetal de los agroecosistemas, mayor será su capacidad para amortiguar los problemas de plagas y enfermedades (Altieri, 1995), así como los cambios en los regímenes de precipitación y temperatura (Folke, 2006).

Recomendaciones

Los efectos del cambio climático no son uniformes en Veracruz, por lo tanto, se deben generar planes regionales de adaptación y mitigación, utilizando datos climáticos locales y considerando el contexto productivo y socioeconómico local, para así poder recomendar las mejores prácticas agrícolas y pecuarias. En términos generales, el manejo agroecológico, las estrategias de diversificación y la producción agroforestal y silvopastoril son elementos claves para disminuir su vulnerabilidad, para incrementar sumideros de carbono y reducir sus emisiones.

Un tema transversal entre productores es su capacitación en temas que les permita enfrentar los impactos del cambio climático. Debe divulgarse, en términos apropiados, entre todos los productores del estado qué es el cambio climático, cuáles son sus efectos en la producción y cuáles podrían ser las estrategias de adaptación; por ejemplo: métodos que mejoren la conservación y fertilidad de los suelos, prácticas para manejar la materia orgánica y evitar la erosión y mantener humedad (adaptación), así como el aumento de carbono en suelos (mitigación) y técnicas que hagan hincapié en el manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Existen numerosas iniciativas locales a lo largo del estado, donde los productores han desarrollado por sí solos estrategias adecuadas de manejo, las cuales deben usarse como ejemplos, pero cuidando de no caer en generalizaciones.

Las políticas públicas han sido tradicionalmente de corto plazo, es decir, los programas cambian cada sexenio y las reglas de operación cada año. En contraparte, se deben propiciar modificaciones en las reglas de operación para que se privilegie el establecimiento de agroecosistemas con técnicas agroecológicas que mejoren su resiliencia ante los efectos del cambio climático. Esos agroecosistemas, debido a que su establecimiento es tardado y paulatino, por lo general se excluyen de las reglas de operación de los programas de gobierno. En el sexenio que recién inicia (2018-2024) el programa Sembrando Vida parece propiciar prácticas adecuadas para disminuir la vulnerabilidad; sin embargo, aún es pronto para evaluar su eficiencia.

Asimismo, es necesario definir políticas públicas que afronten la pobreza de manera eficiente y efectiva y que estén orientadas a fortalecer la agricultura familiar, de pequeña escala, misma que es además la que mayor potencial tiene para enfrentar el cambio climático global, con mejoras del suelo, de las fuentes de agua y en general del entorno rural. También es fundamental que estén enfocadas en evitar la deforestación de los relictos de vegetación original y que fomenten el uso “agroforestal” de los suelos agropecuarios.

Para el sector ganadero en particular, debido a los excesos de precipitación durante el periodo de lluvias y la escasez durante la sequía, se recomienda aprovechar la biomasa vegetal (creación de bancos forrajeros), así como, cuando sea posible, crear infraestructura que permita el almacenamiento de agua y acompañar a los productores ganaderos en el diseño de sistemas agrosilvopastoriles que permitan restaurar la matriz del paisaje de los grandes potreros, reducir emisiones de CO₂ y preservar otros servicios ambientales.

Sector salud en Veracruz y cambio climático

Edith Rodríguez Romero

Instituto de Salud Pública, Universidad Veracruzana

edrodriguez@uv.mx

Rosa Aurora Azamar Arizmendi, Olga Lidia Maza Benavides,

Fredy Severo Mendoza Palmero y Claudia Alejandra Cárdenas Belmonte

Dirección de Protección contra Riesgos Sanitarios, Servicios de Salud de Veracruz

razamar.dprs@gmail.com, lidia_maza@hotmail.com, fmendoza.dsa@gmail.com, clau_alejandr@hotmail.com

Resumen

El cambio climático y los efectos negativos de este en la salud humana son un tema conjunto que repercute de forma significativa en la salud pública. En general, las mediciones de temperatura ambiental están aumentando en estrecha correlación con las enfermedades sensibles al clima, destacan la deshidratación, insolación, golpe de calor, enfermedades transmitidas por vectores, meningitis, infecciones respiratorias, alergias, enfermedades zoonóticas, transmitidas por los alimentos, cáncer de piel y las enfermedades crónicas, entre otras. Aunque muchos países están preocupados por atender esta problemática, también existen vacíos que señalan las deficiencias en acciones para la adaptación al cambio climático, en especial en el sector salud. En este trabajo se presenta el panorama de los efectos ante el aumento de temperatura en la salud; se describen las acciones logradas a través de los programas que han incluido el tema de cambio climático y salud, además de que se enlistan las acciones que faltan por hacer en salud, por último se mencionan los pasos por seguir o acciones propuestas en materia de cambio climático y salud. Aunque se han obtenido logros importantes en este tema en el estado de Veracruz, debido a la vulnerabilidad que presenta ante el cambio climático aún

faltan diversas acciones de adaptación y mitigación por realizar ante los escenarios futuros que no muestran un panorama favorable.

Antecedentes

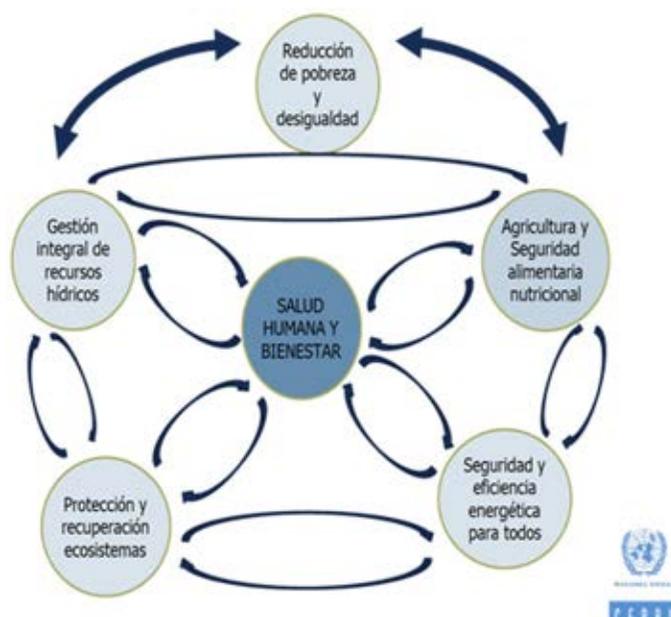
El clima y la salud son bienes públicos y el cambio climático (CC) no solo está afectando nuestros ecosistemas, sino también la seguridad alimentaria e hídrica, además, de manera importante, perjudica la salud humana y su bienestar general, por una relación compleja con otros sectores. Atender el CC, así como la salud, desde los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), impactan no solo a los puntos 3 (salud y bienestar) y 13 (acción por el clima) de estos, pues todos están supeditados e interrelacionados para su atención integral (Figuras 1 y 2).

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fuente: CEPAL.

Figura 2. Salud humana y bienestar



Fuente: CEPAL.

Esta relación compleja *per se* de salud/bienestar-cambio climático genera cobeneficios, ya que ambos dependen del cumplimiento de los otros 15 ODS. Desde la Cumbre de París el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), ha impulsado iniciativas de adaptación al CC en todos los sectores, incluyendo salud, sin olvidar las de mitigación ya establecidas (UNFCCC, 2015). Es hasta la Cumbre de Marrakech COP22 donde los ministros de salud reconocieron el problema y decidieron ponerla como prioritaria en el marco de acciones ante el CC (UNFCCC, 2017).

En México, la inclusión de salud en los comunicados de CC ante el IPCC es contundente. La relación compleja salud y CC no ha sido percibida; sin embargo, es claro que este sector requiere más de un proceso de adaptación, por lo cual en la Estrategia Nacional ante Cambio Climático se refieren acciones específicas al respecto (INECC, 2108a). En el estado de Veracruz, los efectos en salud del CC se evidenciaron desde el Programa de Cambio Climático 2009 de esta entidad federativa (Tabla 1), donde se enmarcaron las acciones que este sector debería realizar (PVCC, 2009).

Tabla 1. Acciones de salud del Programa Veracruzano de Cambio Climático

Acciones	Importancia
Establecimiento de programas de control de vectores transmisores de enfermedades relacionadas con el cambio climático.	Alta
Desarrollo de una campaña de comunicación y concientización de riesgos a la salud por efectos del cambio climático.	Alta
Inclusión en el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica de indicadores de cambio climático.	Media
Integración de inventarios biológicos a efecto de que los vectores puedan monitorearse y determinar el riesgo de transmisión de enfermedades por regiones.	Media
Realización de investigaciones sobre distribución, frecuencia y factores de riesgo de enfermedades ante escenarios de cambio climático.	Media

Fuente: PVCC, 2009.

Durante casi 10 años, los avances en acciones de salud ante el CC han ido desde eventos en salud sensibles al clima que afectan a nuestro estado (mediante investigaciones puntuales sobre enfermedades transmitidas por vector, en especial dengue, y la variabilidad climática), el establecimiento de un índice de vulnerabilidad en salud ante el CC a nivel municipal, hasta el paso principal para la generación de un Plan de Acción para la Adaptación al Cambio Climático en Salud.

En el presente documento se plasman los nuevos retos en salud ante el CC, el panorama de los efectos en salud atribuidos al CC, la vulnerabilidad de estos en el estado de Veracruz, la capacidad de respuesta del sector salud ante el CC, ¿qué falta hacer? y, ¿cómo se debe enfrentar el CC y salud?

Nuevos retos en salud

El CC es una preocupación más de los sistemas de salud, sobre todo en lo que respecta a la salud y bienestar de las personas. Este, en especial, interactúa e interfiere con las condiciones e infraestructuras ambientales y sociales, y puede agravar los efectos que provoca en la salud; lo que lo hace una relación compleja. Hacer frente a los efectos en salud por el CC requiere comprenderlo e integrarlo con otros factores que influyen en los cambios ambientales a escala global, como las condiciones sociales y económicas, la pérdida del hábitat, la degradación del medio ambiente y la alteración de los ecosistemas.

Los impactos en salud por CC pueden ser de tres formas:

- Impactos directos: por la presencia de ondas de frío-calor, eventos hidrometeorológicos extremos, radiación solar, etcétera.
- Impactos mediados por el ecosistema: como el caso de las enfermedades transmitidas por vector, como dengue, malaria y otras. Contaminación del aire, agua y alimentos.
- Impactos mediados por instituciones humanas: nutrición, salud ocupacional, salud mental, conflictos y violencia (ONU, 2017).

Los efectos directos, como calor, precipitaciones, inundaciones y tormentas, entre otros, y la interacción con otros factores, como las condiciones ambientales, la infraestructura social, la capacidad de respuesta del sistema de salud pública y las medidas de adaptación, influyen de manera directa en las repercusiones. En los últimos años el calentamiento general ha provocado un aumento en la mortalidad relacionada con el calor y una mayor transmisión de enfermedades, como respuesta directa del CC. Como consecuencias indirectas están la producción de alimentos, las tasas de migración, y la capacidad de trabajo de las personas en condiciones meteorológicas extremas. Las proyecciones para el 2030 prevén un aumento de la desnutrición, paludismo, enfermedades diarreicas y la mortalidad causada por el calor.

Es importante mencionar que se esperan cambios en la distribución espacio temporal de las enfermedades y problemas nuevos relacionados con la salud, los cuales se verán agravados debido a la fragilidad de las estructuras sociales y económicas.

Ante el CC las temporadas de transmisión de numerosas enfermedades se extenderán en tiempo y alcance geográfico, lo que incrementará los riesgos, en especial para las poblaciones más vulnerables. Lo anterior lo vemos ejemplificado en el caso de padecimientos que avanzan hacia el hemisferio norte debido al aumento de las temperaturas y las alteraciones del comportamiento de los patrones de lluvias y fenómenos hidrometeorológicos extremos de los últimos años.

Factores determinantes como: densidad demográfica, corrientes migratorias y condiciones sociodemográficas son parte importante en la distribución de las enfermedades. En afecciones transmitidas por vector, la atención se centra en la distribución de estas, descuidando la dinámica de casos y, sobre todo, los nichos ecológicos que se están ampliando como consecuencia del CC. Los costos de atención de los padecimientos atribuibles al CC son considerables y deberán ser evaluados ante escenarios futuros del mismo y grupos de población más afectados.

Existe la posibilidad de movilidad humana atribuida al CC, la cual es una afectación indirecta, pues exacerba la pérdida de los medios de subsistencia, el desarraigo cultural, etcétera, y puede repercutir en la salud mental y física de las personas.

Los trastornos transmitidos por el agua originan malnutrición por vectores y a consecuencia de desastres, son de los más estudiados. Sin embargo, las enfermedades emergentes y los cambios en la distribución geográfica son motivo de preocupación, pues requieren de medidas de adaptación urgente.

Otras afecciones sensibles al clima son: meningitis, enfermedades respiratorias, alergias, enfermedades zoonóticas (gripe aviar o porcina, rabia), enfermedades transmitidas por los alimentos (salmonelosis), enfermedades bacterianas y enfermedades crónicas (cardiovasculares, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y asma) relacionadas con el incremento de contaminación del aire, que derivan en mortalidad en grandes ciudades y otros efectos en salud como lesiones, infecciones bacterianas y problemas de salud mental, como el trastorno por estrés postraumático (ONU, 2017).

Efectos atribuidos al cambio climático

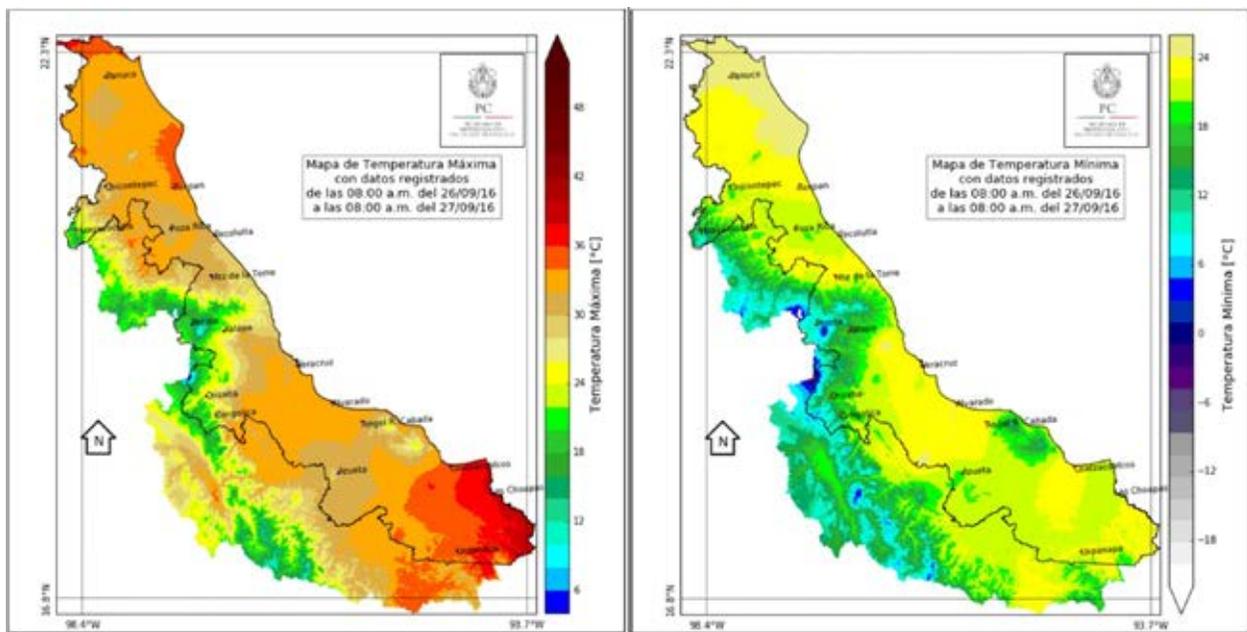
Veracruz muestra tendencia ascendente en padecimientos relacionados con el CC. De las enfermedades transmitidas por vectores (ETVS), hasta 2013, solo había dengue clásico y forma hemorrágica. En 2014 se presentaron casos de fiebre chikunguña o chikungunya y en 2016 fiebre por virus del Zika; las enfermedades diarreicas agudas (EDAS) y las infecciones respiratorias agudas (IRAS) continúan como principales causas de morbilidad y últimamente por temperaturas extremas, apareció el “golpe de calor”, entre otras afecciones.

En 2012 la Dirección de Protección contra Riesgos Sanitarios (DPRS) (Departamento de Emergencias Radiológicas, Físicas y Sanitarias) estimó el riesgo de manera cualitativa en alto, medio y bajo, por jurisdicción sanitaria, para inundaciones, huracanes, tormentas tropicales, granizadas, sequías, heladas, derrumbes, deslaves, golpe de calor y tsunamis. Esto parece ser resultado del aumento de temperatura a través de más de seis décadas; después de 50 años la temperatura ambiental promedio aumentó, mientras que la precipitación refleja una clara ruptura del patrón establecido por décadas. Es posible una correlación en el presente, por lo que de no implementar acciones para mitigar estos efectos, las tendencias seguirán en aumento.

De manera adicional, los costos económicos, sociales y ambientales generados por eventos hidrometeorológicos en Veracruz durante las últimas dos décadas, asociando CC y salud, obligan a tomar medidas urgentes. Si bien se tienen implementados programas con planes de acción, en materia de salud se debe privilegiar la prevención. Se estima que en México los costos por prevenir desastres naturales podrían ser hasta 38 veces menores que en remediación y restauración. En el Figura 3 se muestran las temperaturas máximas y mínimas que registró el informe climatológico del 27 de septiembre de 2016.

A partir del año 2014, la Unidad de Inteligencia Epidemiológica de los Servicios de Salud de Veracruz registra los eventos derivados de temperaturas extremas, sequías y ondas de calor, con la denominación de efectos del calor y de la luz, con el siguiente comportamiento.

Figura 3. Mapas del estado de Veracruz con ilustración de las temperaturas máximas y mínimas



Fuente: Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz.

Tabla 2. Eventos derivados de temperaturas extremas, sequías y ondas de calor. Distribución de casos de efectos de calor y de la luz, por jurisdicción sanitaria durante el periodo 2014-2016

Número	Jurisdicción sanitaria	2014	2015	2016
I	Pánuco	10	2	12
II	Tuxpan	5	1	1
III	Poza Rica	6	33	12
IV	Martínez de la Torre	1	2	8
V	Xalapa	0	0	3
VI	Córdoba	36	0	3
VII	Orizaba	5	0	3
VIII	Veracruz	8	0	17
IX	Cosamaloapan	8	0	3
X	San Andrés Tuxtla	3	0	4
XI	Coatzacoalcos	24	5	2
Total		106	43	68

Fuente: SESVER. Unidad de Inteligencia Epidemiológica 2016.

Los resultados observados son reflejo de las líneas de acción planteadas en la Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40, que se refiere a la instrumentación de mecanismos de medición, reporte y verificación, con lo cual aún no puede plantearse alguna conclusión (INECC, 2018a).

La vulnerabilidad en salud

El CC modifica los sistemas del planeta, propiciando vulnerabilidad inherente o resultante para determinadas áreas (Lampis, 2013); por ejemplo, se sabe de vulnerabilidad en salud, ambiental, forestal, agrícola, alimentaria, por inundaciones y sequías, social, entre otras. En general, el resultado negativo de la fragilidad de cualquier sistema termina afectando la salud humana. Es primordial revisar esta premisa con el objetivo de reforzar la inclusión de esta en las políticas públicas (PP).

La vulnerabilidad debe considerarse como eje principal en las PP porque forma parte fundamental para la adaptación al mismo. Un sustento importante es el informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de la ONU (IPCC), donde se mencionó que la temperatura en el planeta alcanzará el umbral de 1.5 °C, por encima de los niveles preindustriales para 2030, lo que acelerará el riesgo de sequías extremas, incendios forestales,

inundaciones y escasez de alimentos para millones de personas (IPCC, 2018). Problema que atañe a muchas entidades de México, como Veracruz.

Por lo anterior, la tendencia catastrófica (Tabla 2) será difícil de detener; las áreas serán afectadas, en particular en la salud. Es impostergable que la población adquiera con urgencia medidas de adaptación para disminuir los riesgos, lo cual debe iniciar a nivel local, por ser más factible. Esta acción es independiente de que siga el efecto negativo del CC global porque no haya sido posible detener las emisiones de gases de efecto invernadero como lo estima el IPCC.

La vulnerabilidad en salud por CC significa abordar la situación de las enfermedades sensibles al clima y su relación con las variables de temperatura ambiental, precipitación pluvial y humedad relativa, principalmente, descritas anteriormente.

Veracruz presenta alta vulnerabilidad; según la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) la causa principal es el incremento reciente de las emisiones de gases de efecto invernadero. De manera histórica, en Veracruz hay pocas acciones que estudien con profundidad el tema del CC y la vulnerabilidad, pues es relativamente nuevo, aunque se han implementado proyectos en materia de CC y vulnerabilidad; por ejemplo, en las agendas municipales para atender este problema se plasmaron los ejes estratégicos: agua, biodiversidad, sociedad, educación, salud, seguridad alimentaria, energía, economía, infraestructura y gobernanza. De acuerdo con los lineamientos y elementos para la construcción de dichas agendas, de los 212 municipios 61 (29 %) están en nivel elevado de vulnerabilidad climatológica, cuatro en muy alta vulnerabilidad, 57 en alta vulnerabilidad por los efectos del CC (29 %) y 90 con poco riesgo (Figura 4). Se deben diseñar políticas públicas que incluyan la gestión de acciones para mitigación y adaptación al CC, en las que el eje central sea la sensibilización y capacitación de los funcionarios involucrados en la toma de decisiones, pretendiendo con ello lograr un compromiso con miras a la gestión de recursos financieros para la activación de programas exclusivos que atiendan el problema generado por CC.

De acuerdo con el inventario de GEI para el periodo 2004-2008, coordinado por la Universidad Veracruzana, en Veracruz las emisiones de bióxido de carbono (CO_2), en el año 2004, representan 3.5 % del total nacional, comparadas con el inventario nacional realizado en 2002 (INECC); emisiones que en potencia provienen de la generación de energía, agricultura, ganadería y desechos (PVCC, 2009).

En salud pública, la perturbación de la vegetación originaria avanzó en más de 85 %. Cerca de 400 especies de flora están amenazadas, más del 25 % de ellas son endémicas de Veracruz, lo cual refuerza el argumento de que el daño a los ecosistemas está deteriorando la

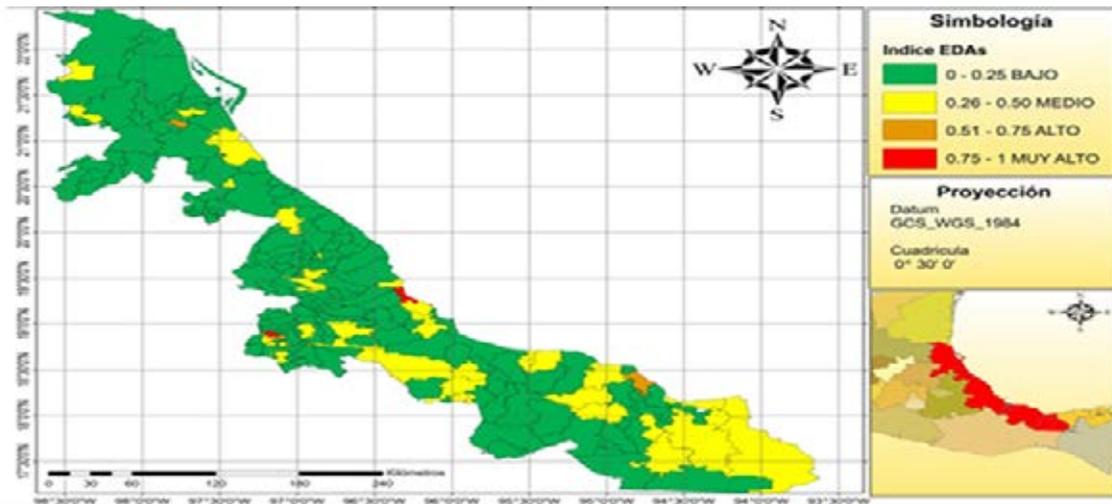
calidad y disponibilidad de los servicios ambientales que mejoran la vida de la población de la entidad (Silva, 2018).

La vulnerabilidad por CC es un tema complejo, ya que para su determinación es difícil elegir indicadores. Conde y Palma (2005) describen el proceso para analizar la vulnerabilidad y CC, y cuestionan por qué no se hacen predicciones, sino escenarios climáticos proyectados a cierto tiempo, lo cual es una alternativa para direccionar las estrategias. Estos autores plantean que el riesgo climático para Veracruz se convertirá en desastre, además de que generan escenarios identificando las zonas más vulnerables por la incidencia climática. En general, plantean fortalecer el sistema de alerta temprana, medida de adaptación y de utilidad para los municipios vulnerables; urge el reforzamiento en el estado (Conde y Palma, 2005).

En Veracruz se ha documentado la incidencia de enfermedades y padecimientos sensibles al clima, destacan las EDAS, IRAS, ETV, por temperaturas extremas, ondas de calor, diabetes mellitus, entre otras. Las estadísticas recientes demuestran que al menos las tres primeras figuran entre las 10 principales en los últimos 10 años; de las otras se observa un incremento significativo. Para atenderlas, Servicios de Salud de Veracruz (SESVER), en colaboración con otras instituciones del sistema estatal, conformó un grupo de trabajo y realizó en 2017 una investigación sobre la vulnerabilidad en salud ante el CC, tomando como eje de análisis las EDAS, IRAS y ETV (dengue). Para ello se modelaron los niveles de riesgo con un índice de vulnerabilidad estructurado por indicadores epidemiológicos, climáticos y sociodemográficos. El modelo de índice se implementó en el ámbito de cada uno de los 212 municipios que se distribuyen en las 11 jurisdicciones sanitarias de SESVER (SESVER, 2017).

Como producto para la gestión de políticas públicas, se obtuvo la estratificación en niveles de vulnerabilidad para las enfermedades mencionadas a nivel municipal y jurisdiccional; resultados que se muestran de forma gráfica en mapas con colores semaforizados.

Figura 4. Mapa de Veracruz donde se muestran los niveles de vulnerabilidad por municipio usando los índices de EDAS



Fuente: Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, 2017.

Este trabajo permite diseñar estrategias y acciones para la adaptación al CC, en su mayoría eficaces para la prevención y control de las enfermedades sensibles al clima, lo que se traduce en una administración pública adecuada. Es importante enfatizar la importancia de las políticas públicas en materia de CC y salud para Veracruz. El mensaje del IPCC advierte las áreas puntuales que, en caso de ser afectadas, generarán epidemias, estrés financiero, lucha por territorios no vulnerables, modificación de nichos ecológicos, emergencia de patógenos y enfermedades, entre otros.

Aunque en el estado, el CC y la vulnerabilidad en salud ya son incluidos en las políticas públicas, se debe destacar la importancia del Programa Cambio Climático de la Dirección de Protección contra Riesgos Sanitarios en SESVER (SESVER, 2018), la Agenda del Instituto de Ecología (INECOL) frente al IPCC-2013 y COP21 2015 (INECOL, 2018), las Agendas Sectoriales de Cambio Climático 2018 de la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Veracruz (SEDEMA).

Capacidad de respuesta del Sector Salud

Existen dos hechos fundamentales relacionados con los efectos en salud atribuidos al CC, algunos prevenibles, y para ambos existen programas para su prevención y control. La Secretaría de Salud Federal estableció el Programa de Acción Específico 2013-2018 para atenderlos, de observancia obligatoria federal, estatal y municipal: Prevención y Control de Dengue y Enfermedad de Chagas, Programa de Atención de Urgencias Epidemiológicas y Desastres, Prevención y Control del Paludismo, Enfermedades Respiratorias y Enfermedades Diarreicas (CENAPRECE, 2018).

No obstante, ninguno de los anteriores analiza el componente climático que permita establecer tendencias actuales y futuras ante los escenarios de CC. Es esencial que el sector salud sea consciente de la probabilidad de las crisis que se avecinan ante las enfermedades emergentes atribuidas al CC, tomando en cuenta todos los factores que contribuyen en su propagación, entre ellos los determinantes sociales de la salud.

En muchos países de Latinoamérica, incluido México, los sistemas de salud son fragmentados, con grandes inequidades en el acceso y calidad en la atención, además de ineficientes e indiferentes a las necesidades de salud, por lo que poco abonan a la prosperidad y progreso de los países.

La inversión en el sector salud determina su cobertura y calidad de atención. En este sentido, México aumentó en su sistema de salud de 2.4 % a 3.2 % del Producto Interno Bruto (PIB), entre 2003 y 2013; sin embargo, con esto no ha logrado mejorar la salud de la población ni se ha traducido en un desempeño óptimo del sistema, como se hubiera deseado.

Asimismo, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) limita el crecimiento a 2 % a los presupuestos operacionales en todos los sectores del gasto federal, sin analizar el egreso y la eficiencia del sector salud, lo que dificulta incrementar de manera significativa los recursos al sistema de salud; en comparación con otros países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), como Francia y el Reino Unido, que realizan estudios regulares del gasto en salud. Esto permite responder de forma adecuada al desarrollo del servicio público, y al mismo tiempo controlar el gasto excesivo (OCDE, 2016).

Ante los escenarios de CC y sus efectos en salud, la vulnerabilidad será la falta de incremento porcentual del PIB a los sistemas de salud que afectan en su capacidad de respuesta actual y futura; sin embargo, frente a este contexto deberán establecerse dichos aumentos.

Para Veracruz el presupuesto estatal en salud 2018 fue de \$8 425 200 000.00 (SEFIPLAN, 2018) distribuido en 18 programas presupuestales, entre ellos prevención y

control de enfermedades (las sensibles a la variabilidad climática y al CC). No obstante, no hubo asignación de recursos para la prevención y atención a los eventos en salud atribuidos al CC, etiquetados ex profeso.

La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) asigna, mediante convenios, recursos para proyectos prioritarios destinados a realizar acciones sobre CC; en especial para actividades de investigación, capacitación y difusión. En 2018 el recurso para Veracruz fue de \$365 079.00 (DOF, 2018).

¿Qué falta y qué sigue en cambio climático y salud?

Aunque en el tema de CC y salud, Veracruz es una entidad con más adelantos, faltan muchas cosas por hacer, por lo que enunciaremos como prioritarias las siguientes:

- Escenarios de CC para calcular el índice de vulnerabilidad futura: hemos avanzado en reconocer y conocer la vulnerabilidad actual, por lo que debemos seguir trabajando de manera interdisciplinaria en los escenarios de CC para calcular la vulnerabilidad futura, que sustente los Programas de Adaptación al CC en Salud (Lampis, 2013).
- Alinear los programas de salud existentes a zonas vulnerables, de acuerdo con la vulnerabilidad presente y futura: como expresamos con anterioridad, existen programas de salud que atienden la mayor parte de las enfermedades sensibles al clima. Estos deben ser alineados de acuerdo con los escenarios de CC actuales y futuros; con lo anterior estaremos actuando en verdad en la adaptación al mismo.
- Introducción del componente de salud en los Planes de Acción Climática Municipal (adaptación): si bien las acciones de mitigación al CC son globales, las de adaptación deben ser locales, lo cual incluye a la célula principal de la administración pública. Los municipios a través de la SEDEMA realizan Planes de Acción Climática que les permiten realizar labores al respecto y obtener recursos; sin embargo, no incluyen el componente de salud.
- Capacitación para la adaptación al CC en salud a nivel municipal: una de las primeras acciones de adaptación es el conocimiento de los efectos en salud ante el CC, sobre todo para los tomadores de decisiones, ya que para resolver un problema primero tenemos que conocerlo y reconocerlo y es fundamental la capacitación a nivel municipal; de esto se derivarán las políticas públicas para enfrentarlo desde el nivel local.

¿Qué sigue?

La salud se ha integrado a la adaptación del CC de manera tardía y los demás sectores nos llevan la ventaja; sin embargo, en el estado hay mucho camino recorrido. A nivel nacional y estatal se consideran prioritarias las siguientes acciones:

- Homogeneizar la evaluación de la vulnerabilidad en salud actual y futura en todos los estados del país. Si bien en otros sectores así ocurre en salud no es así; lo anterior con la finalidad de tener puntos claros de comparación que nos permitan tomar mejores decisiones de manera uniforme.
- Incorporar a la agenda política nacional y estatal el CC, en especial el componente salud. Si no existe voluntad política tampoco habrá asignación de recursos que permitan una verdadera adaptación.
- Generar presupuesto específico para:
 - Investigación en adaptación al CC y salud.
 - Políticas públicas específicas de adaptación al CC y salud a nivel nacional, estatal y municipal.

La falta de políticas públicas de CC y salud y la asignación de recursos para investigación se convierten en una vulnerabilidad.

- Fortalecer el grupo de trabajo de CC y salud con la participación de otras instancias y dependencias. El trabajo en CC y salud debe ser interdisciplinario; en Veracruz esto ha sido una fortaleza, pero debe ampliarse la participación a otros sectores, como agricultura y nutrición, en el tema de seguridad alimentaria, turismo en la pérdida de playas de uso recreativo, etcétera.
- Participación en las Redes de Cambio Climático. Existen redes de difusión de CC en diferentes sectores. Hay países y regiones más adelantados en aspectos de mitigación y adaptación, cuyos ejemplos pueden servir para el desarrollo de estrategias en los menos desarrollados.
- Realizar acciones de adaptación sin olvidar oportunidades de mitigación de GEI y de la huella ecológica. Al sector salud se le ha encasillado en el rubro de adaptación al CC; sin embargo, las actividades que se realizan en cada hospital, centro de salud y oficinas administrativas tienen una carga a través de su huella ecológica y generación de GEI, que afecta en la mitigación. Si bien la adaptación es la parte que se requiere trabajar más en salud, la mitigación también debe serlo

en ese sector, mediante compras consolidadas, programas de reducción de energía y otros.

- Armonizar y ampliar iniciativas sobre “hospitales inteligentes” (seguros, verdes y saludables). Casi siete de cada 10 hospitales de América Latina y el Caribe están ubicados en áreas de gran riesgo de desastres, lo cual puede dejarlos fuera de servicio en caso de un huracán, un terremoto o una inundación.

Ante esto y con el objetivo de que estos centros de atención puedan seguir funcionando durante emergencias de este tipo, así como de mitigar su impacto sobre el medio ambiente, la Organización Mundial de la Salud/Organización Panamericana de la Salud (OMS/OPS) puso en marcha un proyecto para crear hospitales seguros, “verdes” e “inteligentes”.

Un hospital o unidad de salud es “inteligente” cuando combina su seguridad estructural y operacional con intervenciones favorables para el medio ambiente, con una relación de costo-beneficio razonable, por lo que en nuestro estado requerimos de una evaluación sobre la seguridad de nuestros establecimientos de salud ante los escenarios futuros a CC y, en cuanto a su construcción y mantenimiento, disminuir en la medida de lo posible la generación de GEI (OMS, 2018).

Falta mucho por hacer e investigar en CC y salud, y pareciera que estamos llegando tarde, pero las acciones realizadas de mitigación y adaptación en otros sectores tienen un impacto tal que benefician o perjudican de forma directa a la salud humana, por lo tanto, actuar ahora permitirá una mejor calidad de vida ante el inaplazable CC.

Ciudades y cambio climático

Irving Rafael Méndez Pérez

Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana

irmendez@uv.mx

Resumen

Se presentan algunos datos actuales y proyecciones hacia el 2030 o 2050 sobre algunos impactos del cambio climático en ciudades veracruzanas, tomando en cuenta la isla urbana de calor, las ondas de calor, el confort térmico y las necesidades de enfriamiento de manera artificial. Se prevé que Veracruz y Coatzacoalcos incrementarán en más de 200 kWh sus consumos eléctricos por habitante para llegar a la confortabilidad térmica, a través de sistemas de aire acondicionado.

Antecedentes

De manera histórica las variaciones climáticas han influenciado o provocado el desarrollo, declive o desaparición de civilizaciones. De hecho, la aparición de los homínidos (*Australopithecus afarensis*) fue a raíz de la presencia de un periodo de glaciación que condicionó a que los primates tuvieran que bajar de los árboles y empezaran a caminar en dos patas en busca de alimento (Fagan, 2008).

Las variaciones climáticas ocurridas a lo largo de nuestra historia se han producido por causas naturales (variabilidad de la actividad solar o por erupciones volcánicas, etcétera). En la actualidad estamos en un periodo interglaciario (un calentamiento global) que lleva cerca de 12 000 años. Sin embargo, es preocupante que durante los últimos 50 años se presente

una celeridad excepcional de la concentración de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) y otros gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global. Desde la época preindustrial (1750) hacia el 2015, la concentración del CO₂ aumentó alrededor de 280 ppm a 400 ppm, asociados principalmente al consumo de combustibles de origen fósil (IPCC, 2014).

El 70 % de las emisiones de CO₂ a nivel mundial se producen en las ciudades, conclusión a la que se llegó en la Primera Conferencia de Ciencias del Cambio Climático y Ciudades del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en marzo de 2018. Las ciudades son motores de desarrollo socioeconómico. Generan cerca del 80 % del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, producen más del 70 % de los gases de efecto invernadero del mundo (GEI) y utilizan 80 % de la energía del mundo (UN-HABITAT, 2016).

El Quinto Informe de Evaluación del IPCC señala que las ciudades son en particular vulnerables a los efectos del cambio climático. Entre los riesgos destacan la precipitación extrema, las inundaciones continentales y costeras, la sequía y el estrés térmico a causa del aumento de la temperatura, la contaminación del aire, entre otros (IPCC, 2014).

En octubre 2018, en el *Informe especial del IPCC, Calentamiento global de 1.5 °C* se concluye que en la mayoría de los casos en ausencia de adaptación, el calentamiento de 2 °C presentará mayores riesgos para las áreas urbanas que el calentamiento de 1.5 °C, dependiendo de la vulnerabilidad de la ubicación (ya sea costera o no), de los sectores de infraestructura (por ejemplo energía, agua, transporte), niveles de pobreza y la combinación de asentamientos formales e informales.

En este *Informe especial* se señala que el calentamiento futuro y la expansión urbana podrían llevar a un “estrés por calor” más extremo. Con un calentamiento de 1.5 °C se expandirían más de 350 millones de personas a un calor mortal hacia el 2050, mientras que si se considera un incremento de 2 °C, ciudades como Karachi (Pakistán) y Kolkata (India) podrían esperar condiciones anuales equivalentes a las “ondas de calor” mortales presentadas en 2015. Se espera hacia el 2050 un aumento sustancial en la ocurrencia de olas de calor letales en combinación con la “isla urbana de calor”. Se proyecta que el incremento de la población y el tamaño de la ciudad aumentarán la isla de calor urbana hasta 30 % respecto del 2010.

En este texto se mostrarán algunos temas analizados en el *Informe especial* que se resaltaron en el párrafo anterior (isla urbana de calor, ondas de calor y estrés por calor o confort térmico). Algunos resultados se proyectan hacia la mitad de este siglo en ciudades veracruzanas, considerando los incrementos térmicos por cambio climático.

Isla urbana de calor

El clima de las ciudades puede cambiar por factores locales como la topografía, la estructura urbana, el uso de suelo y, en especial, por el calor generado por la misma ciudad. El proceso de urbanización por lo general consiste en que las superficies naturales se recubren de materiales como concreto, asfalto, metal, que tienen una conductividad térmica mayor, provocando que se reduzca la evapotranspiración y aumente el almacenamiento y transferencia del calor sensible, ocasionando una mayor temperatura que en los alrededores; esto se le conoce como isla urbana de calor (IUC).

Hacia 1980, la intensidad máxima de la IUC para la ciudad de Xalapa era de 6 °C (Barradas, 1987), mientras que en el puerto de Veracruz alcanzaba los 3 °C (Jáuregui, 1986). Ocho años después Xalapa llegaba a los 7 °C como intensidad máxima (Tejeda y Acevedo, 1988). Para 1998 se determinó la intensidad media de 1.5 °C (Cervantes *et al.*, 2001). Utilizando la diferencia promedio de temperaturas medias mensuales entre el Observatorio Urbano de Coatzacoalcos y la estación rural de La Cangrejera para el periodo 1995-2001 se obtuvo una intensidad promedio de 1.1 °C. Entre julio y agosto de 2012 se alcanzaron los 7 y 8 °C de intensidad máxima de la IUC en el centro de la ciudad con respecto a la línea de costa (Rivera *et al.*, s. f.). Parada (2013) reportó para Poza Rica una intensidad máxima de 7 °C entre julio y septiembre de 2012.

Según Jáuregui (1986) la intensidad máxima (IC_{max}) de la IUC en ciudades tropicales, en °C, se estima a partir del número de habitantes de la zona urbana (P) como:

$$IC_{max} = 2 \log_{10} P - 8 \quad IC_{max} = 2 \log_{10} P - 8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 1}$$

Tejeda *et al.* (2011) consideran que la IUC no se presenta en toda la zona urbana, sino que del centro se diluye hacia la periferia, de modo que el promedio espacial se puede estimar dividiendo $IC_{max}IC_{max}$ entre 2. Para obtener un promedio temporal, considerando su variación diaria, y en el ciclo anual la intensidad media se divide entre 3, de modo que la intensidad media de la IUC se puede estimar como:

$$IC_{media} = \frac{IC_{max}}{2 \times 3} = \frac{2 \log_{10} P - 8}{6} \quad \text{Ecuación 2}$$

Con la ecuación 2 se calculó el incremento de temperatura para la IUC para cada una de las ciudades veracruzanas mayores a 200 000 habitantes hacia la década del 2030 (ver Tabla 1). Se ocupa el año 2030, ya que es cuando de forma aproximada se cumple el horizonte temporal de 1 °C de calentamiento medio planetario, además de que el Consejo Nacional de Población (CONAPO) proyecta que a partir de ese año la población nacional tendrá un crecimiento casi nulo hasta el año 2042, cuando empezará a decrecer ligeramente (CONAPO, 2006).

Tabla 1. Incremento de la isla urbana de calor (°C) para ciudades veracruzanas mayores a 200 000 habitantes hacia el 2030

Ciudad	Habitantes (2030) según el CONAPO	Incremento °C hacia el 2030
Córdoba	223 000	0.4
Poza Rica	217 000	0.4
Coatzacoalcos	356 000	0.5
Xalapa	514 000	0.6
Veracruz	627 000	0.6

Fuente: Elaboración del autor.

Estrada *et al.* (2017) hacen proyecciones de incrementos de temperatura por IUC para 1692 ciudades del mundo hacia 2050 y 2100. Encontraron que para ciudades medianas el incremento promedio de la IUC hacia el 2050 será de 0.84 °C.

Ondas de calor

Una onda de calor puede ser definida como un periodo prolongado con temperaturas altas por encima del promedio, que modifican el estilo de vida y pueden acarrear problemas de salud pública. No existe una definición cuantitativa que sea universal, debido a que varía de acuerdo con el sitio y la época del año en que ocurre. Para la Ciudad de México el umbral establecido por algunos investigadores es de 30 °C, mientras que para Mexicali es de 42 °C. Con técnicas estadísticas se ha encontrado que para la ciudad de Veracruz una onda de calor se presenta si se rebasan los 34 °C de temperatura ambiente o los 31 °C en Xalapa o los 28 °C en Altotonga.

De acuerdo con el Grupo de Trabajo I del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, reafirmado por el Informe Especial sobre el Calentamiento Global de 1.5 °C, es muy probable que las ondas de calor ocurran con mayor frecuencia y duren más, y prácticamente seguro que este incremento seguirá hasta finales de este siglo XXI; además de que el número y la intensidad de los días calurosos han aumentado de forma notable en los últimos tres decenios.

Las cinco olas de calor más cálidas registradas en los últimos 500 años se presentaron a partir del 2000. La onda de calor europea del 2003 ha sido la más mortífera con alrededor de 70 000 defunciones (IPCC, 2012), seguida de Rusia 2010 con 55 000 muertes, 11 000 de ellas en Rusia (Barriopedro *et al.*, 2011). De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2013) el número de muertes asociadas a ondas de calor para el periodo 2001-2010 se incrementó 2 300 % comparado con la década anterior de 1991-2000.

Mora *et al.* (2017) mencionan que en la actualidad cerca del 30 % de la población mundial, al menos 20 días por año, está expuesta a condiciones de temperatura y humedad que superan el umbral para la salud. Para finales del siglo XXI se espera que el porcentaje se incremente hasta 74 % de la población, si las emisiones continúan sin control. De acuerdo con este estudio, los estados costeros del Golfo de México, la Península de Yucatán y el sur de México serán las regiones en las que se espera un incremento en el número de días por encima del umbral mortal.

La expresión más extrema de daño a la salud asociada a las altas temperaturas es la muerte por golpe de calor. Algunos estudios han demostrado que la mortalidad durante las olas de calor es más alta en las zonas urbanas (Kovats y Hajat, 2008; Stone *et al.*, 2010).

Utilizando el procedimiento propuesto por el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI), con datos de Livneh *et al.* (2015), se calcularon los golpes de calor y frío para el periodo 1979-2012. En tres décadas se contabilizaron 480 días con golpe de calor en Xalapa, es decir, un promedio de 14 días por año, mientras que en Poza Rica alrededor de 19 días en promedio por año.

De acuerdo con Díaz *et al.* (2014), con datos oficiales del INEGI sobre la mortalidad en México durante el periodo 2002-2010, encontraron 393 personas fallecidas a causa del calor natural excesivo, destacando que la mayor parte fue en la zona noroeste del país, seguido del Golfo de México. Veracruz ha registrado, durante el periodo 2002-2010, 33 defunciones.

Con un escenario de calentamiento global medio, Coumou *et al.* (2013) proyectaron que el número de registros mensuales de ondas de calor será más de 12 veces más hacia el 2040 en comparación con los registros actuales.

Necesidades de enfriamiento

La combinación de las proyecciones de que las ondas de calor ocurran con mayor frecuencia, con más intensidad y duración, junto con una mayor intensidad de la IUC y una mala calidad del aire, en definitiva dan por resultado que el mayor impacto será en el bienestar y deterioro en la salud, en particular en personas con complicaciones respiratorias o cardíacas.

Tejeda y Jáuregui (2004), utilizando datos termohigrométricos del periodo 1960-1990, hacen una valuación bioclimática del estrés térmico a lo largo de la costa veracruzana hasta la alta meseta del Eje Neovolcánico. Con apoyo de bioclimogramas realizan una descripción general de las condiciones bioclimáticas de Veracruz, Xalapa y Perote. Señalan que los veranos en la costa, como en la planicie adyacente, prevalece un ambiente de tibio a caluroso y en invierno, condiciones de neutralidad; mientras que las tardes calurosas de verano en Xalapa se mitigan en cierta medida por la llegada de la brisa marina que avanza por la planicie costera hasta llegar al pie del monte de la capital y, por último, en la parte de transición entre el trópico húmedo y el altiplano se encuentra Perote con un ambiente bioclimático frío y seco.

Una manera indirecta de indagar el bienestar térmico humano es a través de los índices de confort térmico. Estos surgieron de la necesidad de estimar los efectos combinados entre el cuerpo humano y el ambiente sobre las respuestas fisiológicas y sensoriales de las personas, a fin de expresarlo a través de un valor único.

Estudios de bioclima humano del siglo XX coinciden en que la temperatura ambiente, humedad atmosférica, la radiación solar más la emitida por los alrededores y el viento, son los principales elementos ambientales en la sensación térmica humana (Auliciems y De Dear, 1986). Dado que al interior de una edificación tanto el viento como la radiación solar pueden controlarse, son suficientemente útiles índices que dependen solo de la temperatura y de la humedad relativa.

Entre los índices que están sujetos a estas dos variables podemos mencionar el Índice de Temperatura Efectiva, Temperatura Aparente, Índice de Calor y Humidex. El índice Humidex tiene distintas aplicaciones, como por ejemplo en estudios de cambio climático (Oleson *et al.*, 2015; Orosa *et al.*, 2014), ondas de calor (Stewart *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2016); ambientes urbanos (Roshan *et al.*, 2017, Charalampopoulos *et al.*, 2013) y en el sector eléctrico (Yildiz *et al.*, 2017; Miller *et al.*, 2017).

Utilizando el índice Humidex se calcularon las condiciones bioclimáticas ante escenarios de cambio climático hacia mediados de este siglo y sus consecuencias de necesidades

de enfriamiento para algunas zonas metropolitanas veracruzanas, que en el 2010 tuvieran medio millón o más de habitantes, entre las que encontramos: Veracruz, Xalapa y Poza Rica.

A partir de información climatológica observada de las temperaturas y humedades máximas y mínimas de la base de datos CLICOM del periodo 1980-2009, fueron estimados los datos horarios de la temperatura y humedad siguiendo el procedimiento de Tejeda (1991) y Tejeda y Rivas (2001), tomando en cuenta la aclimatación por medio de la temperatura preferente. A los valores medios mensuales del escenario base 1980-2009 se sumaron los incrementos de las salidas del modelo HADGEM2-ES con un forzamiento de 8.5 W/m^2 para el horizonte de tiempo en los que se alcanzó un incremento en la temperatura media global (ΔT) de $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Para convertir las salidas del índice bioclimático a unidades energéticas se usaron los resultados del trabajo de De Buen (2017), quien a las distintas tarifas eléctricas domésticas les asigna consumos anuales de electricidad por confort. Se realizaron los escenarios posibles con la IUC, el cual se ponderó a partir de la población futura de cada zona metropolitana, según las proyecciones del CONAPO.

Para mediados de este siglo se proyecta para Veracruz un incremento anual del consumo para enfriamiento de 132 % con respecto al escenario base, considerando el efecto del calentamiento por la urbanización; mientras que para Poza Rica se espera un incremento de 155 %. Xalapa requiere en el periodo base (1980-2009) 1 GWh para enfriamiento, pero considerando el calentamiento global y urbano se espera que necesite alrededor de 9 GWh para estar en confortabilidad. En el caso de necesidades de calefacción, para Xalapa se espera 46 % de decremento de necesidades anuales para calefacción con respecto al escenario base. Ante un contexto de calentamiento global de $2 \text{ }^\circ\text{C}$ más IUC, se proyecta que Veracruz incremente en más de 200 kWh ante necesidades de enfriamiento por habitante, para estar en confortabilidad. Haciendo una comparación, Mexicali tendrá un incremento de más de 600 kWh.

Comentarios finales

Bajo condiciones de cambio climático global es de esperarse un aumento en la demanda de consumos energéticos en las ciudades por el uso de sistemas de aire acondicionado para enfriar espacios cerrados, principalmente en áreas urbanizadas, lo que a su vez contribuirá a una mayor emisión de GEI; mientras que algunas urbes que a la fecha prescindan de estos sistemas, los tendrán que incorporar.

De acuerdo con Jáuregui (1986) para el verano de mediados de este siglo, alrededor de 49 millones mexicanos que ahora no utilizan sistemas de aire acondicionado, los requerirán para estar en condiciones de confort entre media mañana y media tarde. Es muy probable que las urbes de los países en vías de desarrollo con un rápido crecimiento demográfico y una urbanización no planificada sean las más afectas por el cambio climático, provocando, entre otras cosas, un acceso limitado a los servicios básicos urbanos y, sobre todo, una baja calidad de vida.

Un tema importante al que no se le ha puesto la debida atención son los migrantes o desplazados a consecuencia del cambio climático. Se recomienda la lectura “Groundswell. Preparing for Internal Climate Migration” financiada por el Banco Mundial. En esta se proyecta que hacia el 2050, alrededor de 1.7 millones de mexicanos se desplazarán de las costas del Golfo de México y del Pacífico hacia la Meseta Central.

Algunas propuestas de adaptación en torno a urbes y edificaciones son:

- a) Fomentar el cumplimiento del código de construcción sostenible para el sector de vivienda (CONAVI, 2010) y de las Normas Oficiales Mexicanas emitidas con el propósito de reducir los consumos de energía para climatización de edificios: la NOM-018-ENER-2011 (Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba), y la NOM-020-ENER-2011 (Eficiencia energética en edificaciones), así como las Normas Técnicas Mexicanas de carácter voluntario (NMX-AA-164-SCF1-2013: Edificación Sustentable-criterios y requerimientos ambientales mínimos; NMX-AA-171-SCFI-2014: Requisitos y Especificaciones de desempeño ambiental de establecimientos de hospedaje) y adecuar a Veracruz la NMX-AA-SCFI-157-2012 de Requisitos y especificaciones de sustentabilidad para la selección del sitio, diseño, construcción, operación y abandono de sitios de desarrollos inmobiliarios turísticos en la zona costera de la Península de Yucatán.
- b) La atenuación de la isla urbana de calor requiere de una mayor densidad de áreas verdes. La ya mencionada norma NMX-AA-164-SCF1-2013 (Edificación Sustentable...) establece que el porcentaje de áreas libres debe ser mayor al valor mínimo establecido por la regulación local en 10 %.
- c) En la norma de edificación en las líneas de costa debe propiciarse la ventilación. Esa atenuación de la intensidad de la isla urbana de calor, sobre todo en los entornos urbanos en los que se dificulta la ventilación, tendría un efecto no

solo en el ahorro energético sino también en la disminución de la intensidad de olas de calor.

- d) Impulsar la publicación de la reforma al Reglamento de la Ley de Construcciones Públicas y Privadas del Estado de Veracruz, la cual integra criterios de sustentabilidad para las nuevas edificaciones que se lleven a cabo en el estado.

Desastres, hidrometeoros extremos y cambio climático

*Ana Cecilia Travieso Bello y Carolina A. Ochoa Martínez,
Facultad de Economía, Universidad Veracruzana
Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana
atravieso@uv.mx, caochoa@uv.mx*

Resumen

Los fenómenos hidrometeorológicos son los que detonan el mayor número de desastres en México. Veracruz destaca porque ocupa el primer lugar en número de declaratorias de desastres y en recursos económicos asignados por el Fondo de Desastres Naturales. Esto se debe principalmente a la frecuente exposición a lluvias intensas, ciclones tropicales e inundaciones que se combinan con las condiciones de vulnerabilidad del territorio. El incremento de la temperatura y la precipitación que muestran los escenarios climáticos regionales a 2030 y 2050 podrían aumentar la periodicidad y magnitud de los desastres. Por tanto, es prioritario atender la vulnerabilidad para reducir los riesgos y adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. Los escasos recursos destinados a la prevención, unidos al rezago de protección civil y a la necesidad de actualizar los instrumentos de planeación y prevención en la entidad, plantean un gran reto para la integración de la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático.

Antecedentes

El riesgo de desastre es un proceso social que se caracteriza por la coincidencia espaciotemporal de eventos físicos en potencia peligrosos, y elementos socioeconómicos expuestos a

estos en condición de vulnerabilidad (Narváez *et al.*, 2009). En México, los fenómenos hidrometeorológicos son los eventos físicos que detonan el mayor número de desastres y se espera que en condiciones de cambio climático, se incremente su frecuencia e intensidad.

El cambio climático en México se ha agravado por el cambio ambiental global que se caracteriza por el crecimiento poblacional, la urbanización, la acidificación de los océanos, los desechos sólidos y líquidos, así como la destrucción de la biodiversidad (Oswald, 2011). Este conlleva interacciones complejas y variación en las probabilidades de diversos impactos que afectan a la población, infraestructura, sistemas productivos y ecosistemas. Por tanto, debe ser considerado un problema vinculado a la seguridad y desarrollo, por los impactos negativos costosos en todo tipo de economías, sectores productivos y grupos sociales (Zapata, 2011).

En particular, el estado de Veracruz por su ubicación geográfica, diversidad de climas y la extensión de su costa, se encuentra expuesto de manera recurrente a fenómenos hidrometeorológicos que con frecuencia ocasionan desastres, situación que puede agravarse por el impacto del cambio climático. Por ello, este trabajo analiza los impactos y costos de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz, discute las posibles implicaciones de los escenarios climáticos regionales a 2030 y 2050 en los desastres futuros y se emiten recomendaciones dirigidas a la gestión integrada del riesgo y la adaptación al cambio climático.

Riesgos, desastres y cambio climático

El desastre tiene lugar cuando uno o más agentes perturbadores severos o extremos, de origen natural, antropogénico o provenientes del espacio exterior, causan daños que por su magnitud exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada. Este se considera la concreción de un riesgo, que resulta de la interacción de la vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador (Lavell, 2003; Cámara de Diputados, 2018). Los fenómenos hidrometeorológicos son los agentes perturbadores estudiados en este trabajo, que detonan desastres en zonas vulnerables, los cuales podrían agravarse con el cambio climático. Además, se reconoce que los desastres se relacionan con las prácticas humanas inadecuadas, que representan el déficit en el desarrollo. Las modalidades de desarrollo de los países, con impacto diferenciado en la sociedad, contribuyen al crecimiento de la vulnerabilidad y del riesgo, por tanto, estos son procesos construidos socialmente (Lavell, 2003; Narváez *et al.* 2009).

En México, el manejo de los riesgos se realiza con el enfoque de gestión integral de riesgos, establecido en la Ley General de Protección Civil (Cámara de Diputados, 2018), que considera el conjunto de acciones dirigidas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, donde participan los distintos niveles de gobierno y sectores de la sociedad, con el fin de combatir las causas estructurales de los desastres y fortalecer las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad.

La gestión integral de riesgo requiere de instrumentos financieros, por ello México cuenta con el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), desde 1996. En sus inicios este fondo solo apoyaba la rehabilitación de infraestructura afectada por desastres naturales. Sin embargo, en la actualidad incluye dos programas complementarios: el FONDEN para la reconstrucción y el Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN). No obstante, el primer programa es el más importante en cuanto a la asignación de recursos; para acceder al mismo, se requiere una declaratoria de desastre publicada en el *Diario Oficial de la Federación* (SHCP, 2010).

Por otra parte, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en su reporte especial “Gestión de los Riesgos de Eventos Extremos y Desastres para Promover la Adaptación al Cambio Climático” señaló que existe suficiente evidencia que muestra cambios en algunos extremos, la confiabilidad varía entre las distintas regiones y diferentes extremos, pues dependen de la calidad y cantidad de los datos. Además, argumentó con un alto nivel de confianza que la severidad de los impactos de los extremos del clima depende en demasía del nivel de vulnerabilidad y de la exposición a dichos eventos (IPCC, 2012). Por lo tanto, entender los efectos e impactos del cambio climático se ha convertido en un tema prioritario en el desarrollo local y regional de programas de detección de riesgos y vulnerabilidades sociales, así como en la preparación de acciones de prevención y respuestas efectivas de protección civil (Ochoa, 2017).

En la actualidad, es recomendable que la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático se integren de forma holística, para disminuir la vulnerabilidad de la sociedad y articularse con medidas de mitigación, con el fin de reducir las causas que generan el cambio climático y el riesgo existente, evitando la construcción de factores nuevos de riesgo (Quintero *et al.*, 2012).

Resultados y discusión

En este apartado se analizan los impactos y costos de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz; después, se presentan los escenarios climáticos a escala regional al 2030 y 2050 y se discuten las posibles implicaciones en los desastres futuros. Por último, se plantean los retos que implican la integración de la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático.

Impactos y costos

El registro de las declaratorias de desastres asociadas a fenómenos hidrometeorológicos, inestabilidad de laderas y deslaves, emitidas por entidad federativa, durante el periodo 2004-2013, reveló que Veracruz ocupó el primer lugar nacional y obtuvo en este periodo el mayor monto de los recursos FONDEN reconstrucción autorizados, en comparación con los otros estados de la república. Estos hallazgos muestran la recurrencia de los fenómenos hidrometeorológicos en esta entidad federativa y su impacto, ya que las declaratorias de desastre se emiten cuando se requiere acceder al Fondo de Desastres Naturales para la reconstrucción de los daños sufridos en las viviendas y en la infraestructura pública, que exceden la capacidad de los gobiernos municipales y estatales.

En particular, la Secretaría de Gobernación emitió para el periodo 1999-2015 un total de 77 declaratorias de desastre para el estado de Veracruz, asociadas solo a ciclones tropicales, lluvias severas, inundaciones y lluvias severas con inundación. En este lapso, todos los municipios resultaron afectados al menos en una ocasión y los que tuvieron un mayor número de declaratorias de desastres fueron Las Choapas, Minatitlán y Tuxpan con 17, mientras que Misantla, Nautla y Nanchital registraron 16 (Arévalo y Travieso, 2016).

Por otra parte, el análisis de la Serie *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México*, que publica cada año el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Secretaría de Gobernación (SEGOB), mostró que para el periodo 1999-2017 los fenómenos que detonaron mayores daños en México fueron los hidrometeorológicos, con excepción del año 2017, donde los sismos alcanzaron el primer lugar nacional. Veracruz aparece en la mayoría de los años de dicho periodo (1999, 2003, 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016) en la lista de los 10 desastres anuales con el mayor monto de daños y pérdidas, los cuales se asocian principalmente a ciclones tropicales, lluvias e inundaciones. El año más crítico fue 2010, debido a los impactos del huracán Karl

y la tormenta tropical Matthew, que afectaron un número significativo de municipios de la entidad.

El análisis de las precipitaciones en el estado de Veracruz, en 35 estaciones representativas para el periodo 1961-2010 (Ochoa, 2017), reveló que los valores máximos mensuales se presentan en los meses de septiembre (45.7 %), julio (43 %), junio (8.6 %) y agosto (3 %). Esto se debe a que la época de lluvias en la entidad ocurre de junio a octubre, coincidiendo en parte con la temporada ciclónica (junio-noviembre), donde el periodo más crítico es de julio a septiembre (GEV, 2017). Estas condiciones climáticas interactúan con la vulnerabilidad, la cual depende de las circunstancias sociales, políticas y económicas del territorio, que conforman distintos niveles de debilidad o falta de resistencia a determinados grupos sociales. El resultado de esta interacción es el riesgo, mientras que el desastre deriva del riesgo no manejado (Narváez *et al.*, 2009).

La comparación del monto anual de los daños y pérdidas por fenómenos hidrometeorológicos con el monto autorizado por el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) para la reconstrucción en el estado de Veracruz, durante el periodo 2003-2012, mostró que los daños se concentraron principalmente en la infraestructura económica (sector eléctrico, infraestructura carretera y urbana), social (vivienda, educación, salud, infraestructura hidráulica) y en menor medida en los sectores productivos (agropecuario, comercio e industria, servicios y turismo). Los montos autorizados variaron de un año a otro (\$107 354-15 446 663 millones) en función de la magnitud del desastre. Sin embargo, con excepción del año 2008, los daños que se estimaron por año superaron los montos autorizados por el FONDEN para la reconstrucción. Unido a lo anterior, al menos una parte de los recursos FONDEN llegaron al año siguiente de ocurrido el desastre (López y Travieso, 2016).

Estos resultados contrastan con el escaso presupuesto asignado a Veracruz en el FOPREDEN, ocupando el lugar 22 a nivel nacional, mientras que en el FONDEN tiene el primer lugar (INECC-SEMARNAT, 2012). Esta situación exacerba la vulnerabilidad, surgiendo un nuevo escenario de riesgo, modificado por la ocurrencia del desastre y su gestión, así como por las presiones dinámicas, derivadas de las condiciones de desarrollo preexistentes al desastre (Narváez *et al.*, 2009).

Escenarios de cambio climático

Los escenarios climáticos a escala regional al 2030 y 2050 para Veracruz (Palma *et al.*, 2012) muestran en las proyecciones mensuales de temperatura para el mes más cálido (mayo)

incrementos en la temperatura de 0.6-1 °C al 2030 y de 1.2-1.8 °C para el 2050. En el caso de la precipitación, dos de los tres modelos empleados (HADGEM1 y ECHAM5) coinciden en que septiembre correspondería con el mes más lluvioso, con 4 y 12 % más de precipitación, respecto de la climatología; mientras que marzo, al mes de menor lluvia, con 11 % menos respecto de la climatología.

Por otra parte, el cálculo de índices relacionados con la precipitación, propuestos por el Grupo de Expertos en Detección e Índices, para 35 estaciones del estado, mostró una tendencia hacia el aumento de los días húmedos en 58.8 % de las estaciones y 64.7 % presentaron una tendencia al aumento de precipitación total anual (PTA). Sin embargo, en el rango de altitud de 300 a 1 500 m s. n. m. se observó una tendencia a la disminución de la PTA en 70 % de las estaciones. Además, solo 23.5 % de las estaciones mostró una tendencia negativa con respecto a la intensidad diaria de lluvia. Para el caso de la PTA mayor al percentil 95, 61.8 % de las estaciones mostraron una tendencia al aumento, de las cuales solo 12.5 % se encuentran entre los 101 y 500 m s. n. m. (Ochoa, 2017).

Los incrementos en la temperatura mostrados en escenarios climáticos al 2030 y 2050 para la entidad podrían favorecer el desarrollo de ciclones tropicales, que requieren una temperatura superficial del mar de 26 °C para su generación y desarrollo. Estos fenómenos tal vez aumentarán su frecuencia e intensidad. Unido a lo anterior, el incremento de precipitación en septiembre podría propiciar inundaciones con una mayor frecuencia, intensidad y duración.

Además, se debe considerar que en la actualidad Veracruz ocupa el tercer lugar nacional con 6.8 % de la población total del país (INEGI, 2015) y se ha proyectado un aumento al 2050 (CONAPO, 2012). Esta situación implica un incremento en la demanda de infraestructura y servicios, así como en la vulnerabilidad. Por tanto, ante los escenarios de cambio climático podrían aumentar el número y la magnitud de los desastres, así como el costo de estos.

Gestión de riesgos

El ascenso en el número de desastres, así como la magnitud y costos, en contraste con el escaso presupuesto asignado a la prevención en el estado, plantean un gran reto para la gestión integral del riesgo. Además, los escenarios climáticos al 2030 y 2050 podrían conducir al aumento de los desastres, por lo que se debe priorizar la adaptación a estas nuevas condiciones.

Sin embargo, la protección civil en la entidad presenta rezagos, ya que existe una percepción general de visión reactiva, falta de continuidad en los programas de protección civil

por cambios en las administraciones municipales y estatales, así como limitación de recursos humanos y financieros (GEV, 2017).

Por otra parte, los atlas de riesgo municipales están desactualizados y pocos municipios cuentan con un Programa de Acción Climática Municipal. Cabe mencionar que estos instrumentos están sustentados en el ámbito federal por la Ley General de Protección Civil y la Ley General de Cambio, mientras que la entidad tiene la Ley Número 856 de Protección Civil y la Reducción del Riesgo de Desastres para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, el Programa Estatal de Protección Civil (GEV, 2017) y la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático. Además, cuenta con la Secretaría de Protección Civil y la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz, esta última con una Unidad de Cambio Climático. Por tanto, las leyes, instrumentos e instituciones que estudian los riesgos y desastres son diferentes de las que atienden el tema de cambio climático, tanto a nivel federal como estatal, lo cual limita de manera sustancial la integración de la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático.

Conclusiones y recomendaciones

Veracruz se encuentra expuesto de forma recurrente a ciclones tropicales, lluvias intensas e inundaciones que detonan con frecuencia desastres costosos. Esto se refleja en el mayor número de declaratorias de desastres, así como en la asignación del monto más elevado del FONDEN reconstrucción a nivel nacional. Esta situación contrasta con los escasos recursos destinados a la prevención.

Además, los escenarios climáticos a escala regional al 2030 y 2050 muestran incrementos en la temperatura y la precipitación, situación que podría aumentar a futuro la frecuencia, magnitud y costo de los desastres. Por tanto, es prioritario combatir las causas estructurales de los desastres, atender la vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia de la sociedad, con el fin de reducir los riesgos actuales, evitar la construcción social de riesgos futuros y adaptarse a las nuevas condiciones climáticas.

Se recomienda articular las leyes e instrumentos relacionados con la gestión integral del riesgo, mitigación y adaptación al cambio climático, así como la coordinación estrecha entre las distintas dependencias de gobierno en estas materias y los diversos sectores sociales.

Asimismo, se debe incrementar de forma sustantiva la inversión en prevención, con énfasis en los instrumentos de planeación y prevención, la capacitación de funcionarios de

los distintos niveles de gobierno en materia de prevención y atención de emergencias, la comunicación efectiva de los riesgos asociados a fenómenos hidrometeorológicos y cambio climático, así como de la gestión integral; esto como base para el desarrollo de una cultura de protección civil y de adaptación al cambio climático.

De manera particular se recomienda actualizar los atlas de riesgo municipales y elaborar los programas de acción climática municipal, estrechamente vinculados, bajo el enfoque holístico de gestión integral de riesgos y cambio climático. Estos instrumentos deben ser de consulta obligada para la toma de decisiones informadas y la planificación del desarrollo.

Protección civil

Saúl Miranda Alonso y Ramón Pérez Molina

Secretaría de Protección Civil, Veracruz

saul.malo@gmail.com, rampermoli@gmail.com

Carolina Ochoa Martínez y Carlos Welsh Rodríguez

Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana

caochoa@uv.mx, cwelsh@uv.mx

Resumen

La protección contra eventos amenazadores recae en primera instancia sobre cada uno de los ciudadanos. De manera adicional, las instituciones que se dedican al monitoreo, previsión, apoyo en el desastre y en la recuperación de las comunidades dedican su esfuerzo a mantener sus servicios a la par o por delante de las necesidades de protección de los ciudadanos y sus bienes, según el evento y la zona. En la Secretaría de Protección Civil Veracruz (SPCVER) se enfrentan los retos de prevenir y proteger a los ciudadanos por inundaciones relámpago en ciudades, inundaciones por desbordes de ríos, ríos de lodo, ondas de calor y frentes fríos, remoción de material en masa en laderas de montaña, mareas de tormenta y erosión costera, entre otros. Estos eventos aumentarán en frecuencia y magnitud con el calentamiento global, por lo que se deben fortalecer las capacidades actuales de apoyo a la población para estar a la par con las exigencias negativas del cambio climático.

Prefacio

La amenaza por fenómenos meteorológicos extremos se está exacerbando con el cambio climático, como lo señalan los modelos globales de clima desde hace décadas. En la actualidad, en promedio se tiene menos precipitación en Veracruz, pero en las montañas llueve más con tormentas de menor duración, con fuertes escurrimientos que arrastran el suelo fértil produciendo ríos dañinos de lodo y desprotegiendo el suelo en la cuenca alta, mientras en la cuenca baja se registran sequías más acentuadas y frecuentes. Ochoa Martínez (2017) señala que existe una tendencia al aumento en el número de días húmedos y días en extremo húmedos en el estado en las zonas centro y norte, al mismo tiempo que en la zona sur existe una disminución de ellos. Asimismo, es probable que los frentes fríos y ondas de calor estén cambiando en frecuencia, intensidad y/o duración, tal como lo señala el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (2012).

Este panorama desalentador está concatenado al efecto humano negativo en el medio ambiente con los cambios de uso de suelo y las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, entre otros agravios que los humanos realizan buscando las ganancias rápidas, sin importar el daño al medio ambiente y al prójimo.

A continuación se discuten las principales actividades y la problemática de la Secretaría de Protección Civil de Veracruz (SPCVER) relacionadas con la hidrometeorología y el efecto que les está imprimiendo el cambio climático y lo que se puede esperar para el futuro.

El pronóstico meteorológico

El pronóstico meteorológico es la llave detonadora de la atención a las contingencias hidrometeorológicas en protección civil. La veracidad y oportunidad con que se den las alertas es el reto principal técnico y de difusión para un accionar eficiente de los sistemas de prevención y rescate. La confiabilidad de los pronósticos se vio favorecida con el desarrollo tecnológico, a través del advenimiento de las computadoras y los satélites. Los modelos numéricos de computadora son la base indiscutible de un buen pronóstico. Si un modelo se inicializa con datos medidos insuficientes o de mala calidad el pronóstico es deficiente.

En México, la cantidad y calidad de los datos meteorológicos disponibles al público recae en el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA),

principalmente, con 188 estaciones meteorológicas automáticas y sinópticas (EMAS)⁹ y 77 observatorios meteorológicos dotados con personal técnico.

Además, opera la base de clima con carácter de oficial en México mediante el sistema CLICOM (Clima Computarizado). Esta base de datos contiene la información registrada en la red de estaciones convencionales; cuenta con 360 estaciones meteorológicas para el estado de Veracruz para el periodo 1922-2010, de las cuales se encuentran operando 193 (Ochoa, 2017).

Por experiencia de los operativos que utilizan estos datos, se considera que el número de estaciones es insuficiente. Mejor calidad y cantidad de datos medidos en tierra (observatorios meteorológicos y EMAS) y más radiosondeos (mediciones en altura) implican mejores pronósticos globales o hemisféricos que proporcionan los datos iniciales para los modelos regionales (como el WRF), en beneficio de mejores pronósticos meteorológicos locales.

La conjunción de los equipos de previsión del tiempo y de manejo de emergencias en la misma institución y edificio (SPCVER) ha resultado muy provechosa y eficiente en el apoyo oportuno a la población antes, durante y después de los eventos meteorológicos. De manera adicional, en dicha secretaría se ha implementado para Veracruz el modelo de pronóstico del tiempo regional (WRF) en forma operativa, se activa dos veces al día, y se está en proceso de evaluar y mejorar los resultados al comparar contradatos medidos.

El pronóstico del tiempo se atiende 24/7 por meteorólogos de profesión y con gran experiencia, la difusión al público es por redes sociales, radio y televisión, internet, con traducción al náhuatl y señas mexicanas. Con el probable advenimiento de eventos en potencia más dañinos, cualquier mejora en la difusión de los pronósticos/alertamientos es muy necesaria. Los grupos de emergencias y dictaminadores de estructuras se capacitan y equipan de forma continua, lo mismo que el personal de la Secretaría para incrementar la confiabilidad y eficiencia de los servicios que otorgan a la protección de la población en prevención de un sistema atmosférico/hídrico futuro más eficiente.

Imágenes de satélites

En los años 60, con la llegada de las imágenes de satélites de órbita geoestacionaria, esto es, que siempre están sobre el mismo punto de la superficie de la tierra, aunque a 36 000 km de altura, se pudo dar seguimiento en tiempo real a los sistemas hidrometeorológicos de

⁹ <https://smn.cna.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

mediana y gran escala, como los ciclones tropicales. Esta herramienta fue actualizada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos, además se aumentó su resolución. Está disponible al público y se instaló en SPCVER un sistema para despliegue automático de las imágenes. Sin estas imágenes de satélite que se actualizan cada cinco minutos (GOES 16) se estaría a ciegas con relación al seguimiento de fenómenos atmosféricos extremos. El sistema tiene aplicaciones adicionales que ya se utilizan para monitorear la evolución de las costas veracruzanas, expuestas al aumento del nivel del mar por el cambio climático, entre otras variables.

En años anteriores se contaba con acceso a un sistema con diversos canales para diferentes tipos de imágenes (visible, infrarrojo, etcétera) que podían ser manipuladas de acuerdo con las necesidades del usuario—en este caso, personal del Centro de Estudios y Pronósticos Meteorológicos de SPCVER—, pero por cuestiones de presupuesto y cambio de satélite, principalmente, ya no se cuenta con esta herramienta. Hoy en día, se han identificado y obtenido acceso libre a distintas fuentes en internet tales como el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), y la Agencia Espacial Europea (ESA), previo registro, para acceder a diferentes colecciones de imágenes de distintos satélites. Estas imágenes se usan diario para diagnosticar y seguir la evolución de los sistemas atmosféricos con potencial de riesgo para la población.

Atlas de riesgos

En SPCVER se cuenta con un Atlas de Riesgos que se actualiza de forma continua.¹⁰ El instrumento incluye bases de datos a diferentes escalas tales como: tipos de eventos, eventos dañinos registrados, infraestructura, cartografía, entre mucha más información de utilidad. A través de este sistema y mediante el uso de capas de información, el usuario puede generar mapas e información específica, de acuerdo con las necesidades particulares. Cabe señalar que para tener acceso se requiere previo registro, creando un usuario y contraseña.

¹⁰ Disponible al público en <http://atlasriesgos.proteccioncivilver.gob.mx/atlas>

Modelación numérica

La simulación por computadora es una herramienta excelente para diagnosticar y pronosticar los fenómenos atmosféricos. Con el aumento de la capacidad de las computadoras y su abaratamiento, su capacidad para resolver problemas técnico/científicos está al alcance de instituciones como la Secretaría de Protección Civil. Las ecuaciones matemáticas que representan los fenómenos físico/atmosféricos que nos afectan son conocidas y simuladas por la física de Newton y por ecuaciones empíricas. La adaptación de estas se realiza por procesos numéricos que permiten representar, con cierta incertidumbre, eventos como el tiempo a futuro, inundaciones, procesos costeros, entre otros. El estado actual de la modelación numérica de fenómenos naturales extremos dista mucho de ser concluyente, pues carece de la confiabilidad y el detalle apropiados deseados para ofrecer un mejor servicio; en la actualidad son solo guías generales de posibles acontecimientos que deben ser evaluados por los usuarios de este tipo de herramientas, principalmente previsores con experiencia. Asimismo, se necesitan mediciones en el lugar, la sabiduría popular y el historial físico de los sitios en riesgo.

La SPCVER se encuentra a la espera de obtener equipo de cómputo tipo estación de trabajo para acoplar estos modelos a las condiciones veracruzanas e irlos calibrando contra datos medidos. La calibración y el óptimo funcionamiento es un proceso que lleva años, pero que sin lugar a dudas mejoraría la validez y oportunidad de los alertamientos. Hoy en día la alteración humana del clima hace más apremiante la inclusión de los nuevos patrones físico-atmosféricos: ciclones tropicales, frentes fríos, ondas del este, ondas de calor, sistemas locales de mesoescala, brisas, suradas, entre otros, para un mejor pronóstico del tiempo por los modelos.

Monitoreo costero

El deshielo de los glaciares debido al calentamiento global en todo el planeta está teniendo consecuencias dañinas e impredecibles. Para los océanos significa un aumento del nivel del mar nocivo para grandes extensiones de costas; los más vulnerables, como algunas islas en el Pacífico, han tenido que buscar acomodo para su población en tierra firme. Para Veracruz ha significado un aumento de nivel de unos nueve centímetros en 50 años medidos por el Instituto de Geofísica de la UNAM.¹¹ Una consecuencia directa para la población costera

¹¹ <http://www.mareografico.unam.mx/portal/>, consultada en abril de 2019.

es la pérdida de playa que ha motivado demandas de apoyo para vivienda y para el sector restaurantero y hotelero.

La SPCVER mide desde hace cinco años perfiles de playa en dos zonas de Costa Esmeralda, municipio de Tecolutla. Los resultados mostraron en los primeros tres años una oscilación en la ganancia/pérdida de sedimentos costeros, pero en el último año y medio solo se ha medido pérdida de playa, como es el caso de la Barra de Chachalacas. Estos datos de gran precisión son aislados, tal que en la actualidad trabajamos con aerofotografía de hace unos 10-20 años e imágenes de satélite de alta resolución de la Secretaría de Marina (SEMAR) y de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) para su comparación.

Deslaves

Los deslizamientos en laderas son procesos de evolución del relieve y se manifiestan en aumento produciendo decesos y afectando viviendas. En Veracruz es de suma importancia generar información confiable para formular alertamientos oportunos para reducir el riesgo. Se propone instrumentar una zona piloto con sensores de movimiento (acelerómetros e inclinómetros) y transmisión a tiempo actual para monitorear zonas de deslaves de alto riesgo, lo que permitirá tomar medidas preventivas inmediatas. Además, se pueden implementar modelos numéricos de computadora para pronosticar deslaves basados en acumulados de lluvias, pronóstico del tiempo y la geología del terreno, aplicando también el Sistema de Alerta Temprana (SIAT-Laderas) del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y el mapa de riesgos de SPCVER. La primera propuesta de proyecto se presentó al Fondo Nacional para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y está en proceso de reestructuración; la información producida sería transmitida en los diferentes medios de comunicación que utiliza SPCVER.

Por primera vez en la historia de Veracruz, en 2013 el gobierno federal emitió una Declaratoria de Desastre Natural por la ocurrencia de movimiento de laderas para 13 municipios del estado, ya que se incrementó 4.7 veces respecto del año anterior. Hoy en día se tienen cuantificadas unas 1 400 familias en zonas de riesgo que deberían ser reubicadas en vivienda más robusta como especifica el Principio Rector (k) del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.

Discusión y recomendaciones

Para atenuar los efectos producidos por el aumento del nivel del mar, el creador de Microsoft, Bill Gates, y el anterior secretario general de las Naciones Unidas, Ban Ki-Moon, entre otros, lanzaron la Comisión Global de Adaptación que implica que ya estamos dentro de la fase de adaptación en paralelo con la de mitigación.

Los problemas hidrometeorológicos se están presentando más frecuentes y potentes con el cambio climático. El Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC) indica que, para el Golfo de México, el escenario de cambio climático global más probable es aquel que, en resumen, prevé que a lo largo de este siglo los eventos extremos del clima (sequías, lluvias abundantes, huracanes más intensos) se acentuarán (PVCC, 2009). El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 da pautas para estar mejor preparados para la mitigación de los efectos negativos y para la adaptación.

En este se prioriza la información y educación de la población sobre los eventos futuros posibles. Se espera que se fortifiquen los procesos en la ejecución de protocolos de protección civil con acceso a equipo estándar, como camionetas 4 x 4, de búsqueda y rescate, y de atención médica en el sitio de la contingencia. También resulta imprescindible la obtención de equipo con nuevas tecnologías: drones, espectrómetros, entre otros, para uso en las emergencias. Los drones se usan para búsqueda y rescate, evaluación de una inundación o zona de desastre en general, para fotografías que acompañen la solicitud de una Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) y de este modo recibir el pronto apoyo federal. Con un espectrómetro portátil se puede identificar el rango de propagación de una sustancia tóxica, al igual que sustancias tóxicas en el aliento de un accidentado.

Los pronósticos internacionales de los modelos globales a mediano y largo plazo han resultado, en general, acertados, aunque sin detalle en el pronóstico del calentamiento global y cambios en los patrones hídrico atmosféricos. El aumento de la variabilidad climática, mostrada por los datos de récords de temperatura máxima que publica la Organización Meteorológica Mundial, hace evidente que las estimaciones proyectadas se están adelantando. En Veracruz se está experimentando un aumento de ondas de calor y sequías, tormentas más severas y de menor duración con más deslaves y ríos de lodo, e incremento del nivel del mar con más pérdida de playas, como se ha reportado a la SPCVER.

Derivado del Programa Veracruzano de Desarrollo se creó el Centro de Estudios y Pronósticos Meteorológicos de la SPCVER; además, para cumplir con lo establecido en el

Programa Veracruzano de Desarrollo 2011-2016, en materia de políticas relacionadas con el cambio climático, se establece la Secretaría de Medio Ambiente en 2011.

De esta manera, los sistemas de protección civil en Veracruz se han forjado en la atención de emergencias con carencias limitantes. Por fortuna la situación va mejorando, aunque todavía se está lejos de contar con personal suficiente y equipo moderno para atender a esta entidad con población, en su mayoría rural, diseminada en montañas y costas. El cambio climático está presentando nuevos y más potentes retos para las organizaciones de protección civil. Invertir en prevención y fortalecimiento de las instituciones que apoyan a la ciudadanía en los desastres es muy recomendable desde el sentido humano y económico. En cálculos del Banco Mundial, a un dólar destinado a la reducción del riesgo de desastres le corresponden de cuatro a siete de ahorro en la reparación de los daños.

Existen necesidades particulares, que contribuirían a la mejora de los servicios climáticos dentro de la SPCVER, como lo es considerar en el presupuesto de la entidad el costo por el uso de imágenes de satélite, modelos climáticos que provean información detallada, como el Weather Research and Forecasting (WRF), contar con variables como temperatura, viento en superficie y en diferentes niveles, precipitación, por mencionar algunas.

En el caso particular de México existen serios problemas en la red de estaciones meteorológicas, que son las captadoras de los elementos básicos para informar a los modelos y procedimientos de pronóstico, tales como: temperatura, humedad, precipitación, presión, radiación solar, etcétera (Macías, 2012), y Veracruz no es la excepción, por lo que un incremento en el número de estaciones meteorológicas sería de gran ayuda.

Cabe señalar que aunque existe la Ley Número 869 de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica del Estado de Veracruz, no cuenta con la representación de las Secretarías de Medio Ambiente y Protección en el Consejo Directivo con voz y voto, por tratarse de dos dependencias muy relacionadas con las principales problemáticas que afectan a los veracruzanos y que deben tener necesidades en la materia; entre las que pudieran tener es evidente que requieren de la participación ciudadana informada.

La profesionalización de las instituciones de gobierno resulta muy provechosa, pues los problemas cotidianos de la operatividad no solo son desconocidos para la academia, sino también les resultan de poco interés, ya que la solución requiere trabajo arduo de varios años que con dificultad va a redituar en publicaciones y libros que necesitan para cumplir con las exigencias de un Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) más orientado a la ciencia básica y no a resolver problemas específicos de la población.

Educación para el cambio climático: Consideraciones para su abordaje

Laura O. Bello Benavides y Gloria Elena Cruz Sánchez

Instituto de Investigaciones en Educación, Universidad Veracruzana

labello@uv.mx, gcruz@uv.mx

Resumen

El cambio climático (CC) impacta en las condiciones climáticas, socioecológicas y económicas de las poblaciones. El estado de Veracruz no escapa a esta situación, pues es una de las regiones con mayor vulnerabilidad al CC. Para desplegar acciones de adaptación y mitigación múltiples ciencias intervienen: climatología, ecología, ciencias sociales, etcétera. En este documento se presenta una serie de ejes sobre educación ambiental (EA) acerca del CC que orienten políticas públicas estatales acerca de tales acciones, enfocadas a la reducción de la vulnerabilidad frente a este fenómeno. Para ello se recuperan documentos que establecen marcos de trabajo y legislación en materia de CC: Acuerdo de París, Ley General de Cambio Climático y Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático del Estado de Veracruz. Además de estudios realizados acerca de percepciones sobre el fenómeno y acciones de educación para el CC en el estado de Veracruz y directrices curriculares de educación básica y media superior formuladas por la Secretaría de Educación Pública. Al final se concluye con una serie de recomendaciones y ejes por considerar para el diseño de estrategias de educación y comunicación frente al CC desde la EA formal e informal.

Preámbulo

El cambio climático (CC) se considera un problema ambiental que impacta de forma inmediata en las condiciones del clima en todo el planeta (IPCC, 2014), cuya influencia humana, directa o indirecta, en términos de alteración de la composición de atmósfera global por emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, es ante todo un problema político y económico. Las causas subyacen en políticas energéticas y económicas acerca del uso de combustibles fósiles y en la generación de energías alternativas. Acuerdos internacionales se han desarrollado desde 1988 con la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) que aglutina investigaciones acerca del fenómeno y emite ejes de acción dirigidos a quienes toman las decisiones.

Directrices

El Acuerdo de París es relevante en educación ambiental (EA), pues destaca la importancia de esta en los procesos de formación, sensibilización y participación por parte de las sociedades en las acciones de mitigación, con especial énfasis en los de adaptación y, de manera particular, para aquellos países en desarrollo; el caso de México. En el artículo 7 se expresa la importancia de la generación de conocimiento científico, la sistematización de experiencias de enseñanza y la articulación con políticas públicas. También se destaca, en el artículo 8, la relevancia de lo educativo en materia de preparación para situaciones de emergencia, la gestión del riesgo y la resiliencia de las comunidades, los medios de vida y los ecosistemas. El artículo 11 explicita la importancia de la educación y la comunicación en el despliegue de acciones eficaces tanto de adaptación como de mitigación. De manera concreta, en el artículo 12, queda patentada la necesidad de adoptar estrategias de educación orientadas a la sensibilización y participación de la población en acciones de mitigación y adaptación al CC.

Esta legislación es relevante pues, por una parte, se reconoce la importancia de las tareas educativas y de comunicación en las acciones tanto de mitigación como de adaptación y, de esta manera, se involucra a todos los sectores de la población desde una visión que reconoce las diferencias de cada población en términos de sus características contextuales (sociales, culturales, políticas, geográficas, etcétera). Además, se dota de responsabilidad a cada parte para incorporar lo educativo, sistematizar estas tareas y, en consecuencia, emitir reportes que sean la base para avanzar en acciones pertinentes frente al CC.

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) en su más reciente modificación, a través del artículo 2 garantiza el derecho a un ambiente sano. El principio de concurrencia con los tres niveles de gobierno señala las atribuciones para desplegar acciones de mitigación y adaptación ante el CC (artículo 5). En lo relacionado con educación destaca la importancia de “fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático” y “Establecer las bases para la concertación de la sociedad” (LGCC, 13-07-2018: 2). La tarea de la educación es clara: se debe promover la cultura y educación en lo relacionado con el CC en todos los niveles educativos, además de su comunicación con el fin de sensibilizar a toda la población acerca de las causas e impactos. Esta tarea se debe diseñar y realizar de manera vinculada con el gobierno federal, estatal y municipal (LGCC, 2018).

Otro elemento relevante en materia de educación es la conceptualización de:

- I. Adaptación. “Medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño, o aprovechar sus aspectos beneficiosos” (LGCC, 13-07-2018: 2).
- II. Política nacional de adaptación. “Proceso de identificación de necesidades de adaptación al mediano y largo plazo, y de desarrollo e implementación de estrategias, programas y acciones para atenderlas” (LGCC, 13-07-2018: 4).
- III. Resiliencia. “Capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático” (LGCC, 13-07-2018: 5).

En lo relacionado con la investigación y tecnología en acciones de mitigación y adaptación destaca no solo la legislación para su desarrollo, transferencia y vinculación con las políticas públicas sobre CC. Asunto especial representa el inventario, cuya elaboración estará a cargo del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), en colaboración con las entidades federativas y municipios.

En resumen, dos ejes relacionados con educación atraviesan el Acuerdo de París y la LGCC: (1) la educación dirigida a la población, cuyo propósito son las acciones de mitigación y adaptación al CC a través de la conciencia de las causas y efectos; y (2) la generación de conocimiento científico y tecnología por parte de las Instituciones de Educación Superior (IES) y organismos especializados en materia de CC, mitigación y adaptación.

Por su parte, Veracruz desde 2010 cuenta con la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático (LEMACC). Precepto que respondió a acuerdos y legislación vigente en la primera década del siglo XXI. En cuanto a educación, se patenta su

importancia con la presencia del Secretario de Educación como miembro del Consejo Estatal y su tarea en la formulación de programas de educación y comunicación sobre CC en el territorio veracruzano; sin establecer grado y forma de participación. A la luz de legislaciones actuales, se advierten diferencias conceptuales en relación con el Acuerdo de París y la LGCC sobre adaptación, mitigación y vulnerabilidad. Se advierten, además, ausencias relacionadas con conceptos como: riesgo, resiliencia, inventario, fondo y política nacional de adaptación, principalmente.

Queda clara la necesidad de alinear la LEMACC con la LGCC y el Acuerdo de París. Para ello, en lo relacionado con educación, es necesario considerar también el grado de conocimiento que la población tiene acerca del CC, sus causas e impactos, además del grado y características de incorporación del CC en el currículo de la educación básica y media superior. En el siguiente apartado se exponen resultados de investigaciones que exploran este asunto y que dan luz acerca de directrices educativas frente a las acciones de mitigación y adaptación ante el CC.

Lo que saben y hacen los veracruzanos

Con el propósito de exponer datos acerca del conocimiento sobre el CC de la población veracruzana, se muestran de manera diferenciada en población urbana, periurbana y rural. Por último, se analizan los tres bloques de datos.

Estudios realizados con estudiantes de la Universidad Veracruzana acerca de lo que saben sobre CC, revelan que reconocen el origen antrópico del fenómeno, así como sus consecuencias a nivel planetario. Sin embargo, el conocimiento de sus impactos a nivel nacional y en el estado es precario, pues se limita a las afectaciones por hidrometeoros (González y Maldonado, 2013). Investigaciones en población estudiantil de nivel Medio Superior revelan datos similares (Bello, 2017a). Ambos coinciden en señalar que la población estudiantil tiene una visión reducida del fenómeno tanto de los impactos señalados, como de inacción. Esto es: expresan que quienes tienen las facultades para actuar son los políticos y el gobierno. A tal inacción se suma el desconocimiento de actividades tanto de mitigación como de adaptación que pueden desplegar.

La población adulta periurbana que habita en zonas de riesgo y que ha enfrentado consecuencias por hidrometeoros (de la que se tiene información sobre percepción de riesgo y vulnerabilidad ante estos asuntos) revela desconocer mecanismos de fortalecimiento de redes

inter e intracomunitarias, con instancias gubernamentales para gestionar el riesgo y reducir la vulnerabilidad, antes, durante y después del impacto de hidrometeoros. Asimismo, esta población es receptora de información limitada acerca de los impactos y cómo enfrentarlos, ya que la principal es la que reciben de la radio y la televisión. Por último, tales estudios identifican ausencia de acciones comunitarias pertinentes y oportunas para enfrentar dichos eventos (Ávila, 2015). Redes inter e intracomunitarias débiles, sistema de alerta temprana ineficiente, reflejo de carencias en comunicación y educación frente a los impactos del CC, también están presentes en otras comunidades, como Cotaxtla y José Cardel (González y Maldonado, 2017).

Otro sector de la población veracruzana de la que se tiene información sobre conocimiento de CC es la rural, que vive en situación de vulnerabilidad frente al CC. Un estudio con gente de las cuencas del río Jamapa y Pixquiac revela que están conscientes de afectaciones locales, como aspectos fenológicos, variaciones en las temporadas de lluvias e intensidad de estas, alteración en la producción de especies endógenas, etcétera, pero sin asociarlos al CC ni a las acciones que pueden desplegar para adaptarse. Asimismo, actividades de mitigación que realizan como no quemar basura, no las asocian al fenómeno del CC sino a la contaminación atmosférica. Están ausentes tareas como reforestación, cuidado del ecosistema y recuperación de cultivos locales. Ello incide en la alta vulnerabilidad social de estas comunidades en el sentido de la limitada participación, tanto en términos individuales como colectivos para gestionar la adaptación al CC (Maldonado *et al.*, 2017). Datos similares se presentan en comunidades vulnerables de los municipios de La Antigua y Nicolás Bravo, donde 64.15 % de la población del estudio expresa no haber recibido información sobre gestión de riesgo ante hidrometeoros, además de que la redes intracomunitarias con el sector gubernamental son precarias y deficientes (Travieso *et al.*, 2018).

Conocimientos precarios acerca de acciones de mitigación y adaptaciones, tanto individuales como colectivas, son el común denominador en los tres sectores de la población veracruzana analizada. Asimismo, comunicación limitada a afectaciones globales y con un abanico pobre de acciones que la gente puede realizar es lo que caracteriza la información de la que se apropia la población. Asunto que desemboca en redes inter e intracomunitarias débiles en lo relacionado con impactos del CC.

Educación formal

La educación formal es un espacio pertinente y necesario para la sensibilización y gestión de acciones frente al CC. En este apartado se exponen los espacios de oportunidad curricular en educación básica (EB) y media superior (EMS) para tratar lo educativo en materia de CC. El diseño curricular del que se desprenden los planes y programas de estudio de EB está formulado con base en criterios pedagógicos propicios para incorporar lo educativo en materia de CC. La relación global-local, así como los criterios de relevancia y pertinencia explicitados en el currículo dan cabida a diversos problemas socioambientales (SEP, 2017a). Se plantea como uno de los propósitos de la EB la comprensión de los problemas nacionales y locales y la importancia del aprovechamiento pertinente de los recursos. Aunque el estudio del CC no se explicita como contenido (eje) curricular, uno de los 11 rasgos del perfil de egreso es: “Muestra responsabilidad por el medio ambiente” está orientado a la identificación y gestión de problemas ambientales y la sustentabilidad.

Otro espacio de oportunidad es el enfoque por competencias orientado a coadyuvar “a la conformación de naciones y regiones fundadas en el bienestar de las personas, las sociedades y el medioambiente” (SEP, 2017a: 96). Aquí se plantea que a través de este enfoque los estudiantes respondan a problemas como el CC de manera resiliente, innovadora y sustentable. Todo lo expresado se materializa en la “autonomía curricular”, espacio para analizar cinco ámbitos educativos, tres de ellos, “nuevos contenidos relevantes”, “conocimientos regionales” y “proyectos de impacto social”, incorporan de manera explícita al CC, acciones de mitigación y adaptación, educación ambiental y medio ambiente. Asimismo, en los contenidos de Ciencias Naturales se explicita el CC (SEP, 2017a). El enfoque de Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) orienta el despliegue de las tareas educativas relacionadas con los temas ambientales, incluido el CC.

Por lo que respecta a la EMS el currículo vigente da continuidad al de EB; los mismos principios pedagógicos orientan los propósitos y tareas educativas. En lo relacionado con el CC se incorpora en uno de los cinco campos disciplinares del currículo: Ciencias Experimentales en sus diversos niveles de organización, en los aprendizajes clave, contenidos específicos y aprendizajes esperados. En el resto de los campos disciplinares su incorporación es periférica, esto es, se incluye como un tópico del desarrollo sustentable y la responsabilidad social como componente del perfil de egreso del estudiante (SEP, 2017b).

En el actual currículo de EMS se observa el mismo fenómeno que en el anterior: 1) una incorporación heterogénea, uno de los cinco campos disciplinares lo incluye como contenido

explícito por estudiar en las materias; y 2) visión parcializada, con énfasis en la dimensión ecológica, carente de una perspectiva compleja del fenómeno y ausente de experiencias educativas que articulen conocimientos del CC con acciones de mitigación y adaptación que se pueden desplegar en lo individual y colectivo (Bello *et al.*, 2017b).

En el currículo de ambos niveles educativos está claro que el CC no es asunto central de las tareas educativas; sin embargo, sí está asentado su planteamiento recuperando conceptos como resiliencia, acciones de mitigación y adaptación (para el caso de EB), responsabilidad social, principalmente. Ello desde el enfoque de CTSA.

La formación académica en lo relacionado con el CC es asunto central para la implementación de planes y programas de estudio en EB y EMS. Los programas oficiales de formación docente han sido diseñados e implementados con énfasis en habilidades docentes para el abordaje de contenidos desde el enfoque de competencias. Ausencia en la formación tanto de contenidos como de enfoques educativos y pedagógicos en lo relacionado con asuntos ambientales, en particular CC, es una de las constantes en los programas oficiales de formación docente (INEE, 2015, 2017).

Ley Estatal de Cambio Climático en el Estado de Veracruz. Mínimos imprescindibles

Legislación internacional y nacional: Acuerdo de París, LGCC, marco curricular de EB y EMS, condiciones de contribución de impacto del CC en Veracruz y de vulnerabilidad, junto con estudios acerca de la dimensión social del mismo, configuran los asuntos por considerar para formular ejes en materia de educación por tomar en cuenta para el diseño de políticas públicas acerca del CC. A continuación, se describen agrupados en: a) Educación formal, b) Educación informal y c) Educación acerca del CC como eje transversal en el sector gubernamental, empresarial y organizaciones civiles.

a) Educación formal

Programa de educación para el cambio climático en EB y EMS

La EB y EMS son el espacio educativo para que la población joven veracruzana adquiera la formación necesaria en lo relacionado con el CC. Aquí es asunto central trascender de la apropiación de conocimientos sobre el mismo a una educación para la acción acerca del CC. Para ello es necesario recuperar los espacios curriculares (explicados en la sección anterior)

desde las instancias oficiales: Secretaría de Educación en el Estado de Veracruz y el Consejo Interinstitucional Veracruzano para la Educación (CIVE) para diseñar experiencias educativas sobre CC que partan de lo global a lo regional, con énfasis especial en acciones de adaptación al fenómeno en aquellos aspectos con mayor vulnerabilidad en el territorio veracruzano.

El propósito de las tareas educativas para EB y EMS ha de orientarse al desarrollo de competencias que articulen conocimiento puntual del CC y de sus impactos en el estado, con acciones tanto individuales como comunitarias de mitigación y adaptación. Esto es, saber cómo:

- I. Reducir GEI a través de prácticas de consumo pertinentes,
- II. Actuar frente a hidrometeoros, antes, durante y después de estos impactos,
- III. Desarrollar prácticas de cuidado de la salud ante enfermedades agudizadas por el CC,
- IV. Desarrollar prácticas socioambientales de adaptación al CC,
- V. Lograr el cuidado y recuperación de ecosistemas y reforestación, principalmente.

En resumen, que los jóvenes tengan claridad en que sus acciones son relevantes en las medidas de respuesta al CC. El enfoque de CTSA, resiliencia social y ecociudadanía es adecuado para dichas tareas educativas.

Programa de formación docente en materia de CC

En esta tarea es de especial relevancia la formación docente en temas de educación ambiental y CC, desde el enfoque de ecociudadanía y de estrategias educativas orientadas a la resiliencia social. Para ello, es central, por una parte, incluir en los programas oficiales de formación docente estos contenidos en los que se ponga en perspectiva su importancia. Por otra parte, es necesario que estos programas sean elaborados *ad hoc*, esto es, que se tomen en cuenta tanto las condiciones de CC en el estado de Veracruz, como las necesidades y condiciones de los docentes en lo relacionado con su ejercicio académico.

Programa de Estudios sobre CC en IES

Es necesario que las IES en la entidad e Institutos de Investigación le otorguen centralidad a estudios e investigación básica y aplicada sobre CC, en lo relacionado con mitigación así como en adaptación. En la actualidad, la Universidad Veracruzana desarrolla estas actividades a

través del Programa de Estudios sobre Cambio Climático de la Universidad Veracruzana (PVCCUV), por lo que se precisa dar continuidad a estos estudios y vincularlos con las políticas públicas en materia de CC, a fin de que se traduzcan en programas y acciones de respuesta al mismo. De manera particular, en lo relacionado con la dimensión social del CC es necesario profundizar en estudios que den cuenta de la manera en la que la población veracruzana se apropia y actúa (o no) en lo que respecta a este tema, lo mismo que investigaciones con enfoque participativo acerca de vulnerabilidad, riesgo, medidas resilientes de mitigación y adaptación, principalmente, y con base en datos científicos diseñar estrategias educativas y de comunicación. Así como estrategias de intervención educativa para cada sector de la población.

En el mismo tenor, en los programas de estudio de formación de las ofertas educativas que imparten las IES, es necesario incorporar temas de CC orientados a vincularlos con el perfil de egreso de los estudiantes para que incidan en un ejercicio profesional, que tome en cuenta acciones de respuesta. También es precisa la formación especializada en CC de profesionistas en climatología, agronomía, economía, biología, ciencias sociales, etcétera.

La vinculación entre las IES, la Secretaría de Educación en el estado de Veracruz orientada a la investigación educativa en lo relacionado con el CC, formulación y desarrollo de programas educativos sobre este tema son tarea central para que la población estudiantil veracruzana se apropie de manera pertinente de conocimientos que detonen acciones de respuesta.

b) Educación no formal

La educación no formal está dirigida a la población urbana, periurbana y rural, principalmente adulta, con especial énfasis en aquella que es más vulnerable a los efectos del CC.

Educación y comunicación en población urbana

Se precisan programas de educación y de comunicación *ad hoc* que estén orientados, por una parte, al conocimiento de los impactos del CC en la región y, por otra, a las acciones, esto es, a la manera en la que la población puede actuar en lo individual y colectivo para mitigar y adaptarse al CC. Los medios de comunicación más empleados por estas son las vías adecuadas para la ejecución de las campañas de comunicación, además de difusión de información acerca de esta problemática y sus impactos. Para ello es necesario establecer

vínculos entre los gobiernos municipales y las secretarías encargadas de la gestión de estos programas: Secretaría de Protección Civil (SPC), Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA), Secretaría de Salud del Estado de Veracruz (SESVER), Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV), principalmente, para el desarrollo y seguimiento de estas tareas.

Educación y comunicación en población periurbana

Las estrategias de educación y comunicación han de diseñarse con enfoque de resiliencia social basada en el fortalecimiento de redes inter e intracomunitarias. Esto es, que las comunidades, más allá de conocer el riesgo y vulnerabilidad frente a embates del CC, aprendan a gestionarlos con actividades relacionadas con la elaboración colectiva de mapas de riesgo, conocimiento y uso de recursos materiales y humanos (saber y desarrollar formas de organización y cooperación comunitaria), para actuar frente a riesgos puntuales que enfrentan, así como el cuidado de ecosistemas, con especial énfasis en los bosques. Para ello se requiere que cuenten con los apoyos de los niveles de gobierno involucrados: Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca (SEDARPA), SPC, CAEV, SEDEMA, SESVER, gobierno municipal, principalmente, y que se desarrollen formas de comunicación y cooperación efectivas.

Educación y comunicación en población rural

El programa para este sector de la población ha de desarrollarse con el mismo enfoque de resiliencia social basada en el fortalecimiento de redes inter e intracomunitarias y en el conocimiento de los riesgos y vulnerabilidad que cada localidad enfrenta. El énfasis para esta población está en el desarrollo de estrategias de autogestión y conformación de redes intracomunitarias con las secretarías involucradas en lo relacionado con el CC. El peso mayor ha de orientarse a las acciones de adaptación en la salud, alimentación, cuidado de ecosistemas, reforestación, reconocimiento de saberes locales y reducción de vulnerabilidad. También las tareas de educación deben tener como propósito el fortalecimiento de la autogestión de las comunidades, es decir, que sepan a qué instancias gubernamentales acudir y que a su vez estas otorguen el apoyo necesario.

c) *Educación acerca del CC como eje transversal en el sector gubernamental, empresarial y organizaciones civiles*

La complejidad, importancia y urgencia de desplegar acciones pertinentes de mitigación y adaptación desemboca en la participación necesaria de todas las secretarías gubernamentales relacionadas con el CC y sus impactos: SEDARPA, SPC, CAEV, SEDEMA, SESVER, Secretaría de Desarrollo Económico, principalmente, y de los tres niveles de gobierno. Además de la formación sobre el tema dirigido al sector empresarial, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y asociaciones que trabajan temas ambientales en la entidad.

Educación y comunicación en dependencias gubernamentales

En lo relacionado con educación es prioritario un programa de formación y actualización en CC a funcionarios de los diversos niveles de todas las dependencias de gobierno involucradas en las acciones de mitigación y adaptación, de manera diferenciada en función del nivel y grado de acción y función en estos asuntos. Para las instituciones con participación directa, el programa se enfocará en fortalecimiento de cuadros especializados y conocimiento de la importancia de las estrategias de comunicación y adaptación con enfoque en resiliencia. También es prioritario incorporar a su personal experto en el tema y/o gestionar estudios de posgrado afines a los impactos del CC.

Para el resto de las dependencias gubernamentales, el programa debe estar orientado, en una primera etapa, al conocimiento de los impactos del CC en el estado, en concreto en la región en la que se ubica la dependencia (estado y/o municipio), con énfasis en aquellos puntos que se desarrollan en el organismo. También es necesario incluir en el programa estrategias que vinculen la información con acciones, individuales y colectivas, que tales instituciones pueden gestionar en la urbe que atienden. En una segunda etapa, el programa se enfocará en la formación del personal para el diseño y ejecución de talleres/cursos y estrategias de comunicación dirigidos a la población que cada corporación atiende en los asuntos de los que se encarga (turismo, salud, agricultura, etcétera) que son impactados por el CC. El enfoque educativo y de comunicación ha de ser el de la resiliencia social, a través del fortalecimiento de redes inter e intracomunitarias.

Educación y comunicación en organizaciones civiles y ONG

El programa de educación y comunicación para estos organismos se ha de diseñar desde el mismo enfoque de resiliencia social y ecociudadanía. Dado que estas organizaciones son ya sensibles a temas ambientales, el énfasis en el programa ha de estar en el conocimiento puntual de impactos del CC en el territorio veracruzano y zona en la que desarrollan sus actividades, de las acciones que pueden gestionar y el fortalecimiento de redes de colaboración con el sector gubernamental.

Educación y comunicación con sector industrial y empresarial

Es prioritario formar en temas de CC, tanto en acciones de mitigación como de adaptación a este sector de la población. La orientación de resiliencia social ha de considerar el conocimiento e impacto del CC en reducción de GEI, uso de energías y materiales alternativos, estrategias de adaptación. Además de estrategias de vinculación con dependencias gubernamentales, IES, ONG y población civil, para el desarrollo y fortalecimiento de acciones conjuntas frente a impactos del CC.

Reflexiones finales

La reflexión principal es que el CC es un problema cuya dimensión política es fundamental en el diseño y gestión de políticas públicas pertinentes, pues son la vía para mitigarlo y enfrentar sus impactos. En este sentido, es determinante que, en primera instancia, los gobiernos le otorguen al CC la importancia y urgencia en las acciones que a este competen en las tareas mencionadas. Este debe configurarse como problema prioritario que requiere de la participación conjunta de múltiples instancias gubernamentales y de los tres niveles de gobierno. Los informes y acuerdos internacionales son un referente para dicha tarea.

La legislación y acuerdos nacionales y estatales requieren del conocimiento profundo de los efectos del CC a nivel nacional y regional. El caso del estado de Veracruz es particular por ser un territorio de impacto, como ya quedó expuesto; es por ello que se necesita fortalecer la investigación y el conocimiento desde las diferentes ciencias involucradas.

Además, la investigación de la dimensión social del CC ha de orientarse, por una parte, al conocimiento de la manera en la que la población se apropia y actúa en lo relacionado con

el tema. Por otra, al diseño de estrategias de comunicación y de educación para la gestión de la resiliencia social, la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de las comunidades, a través de redes de colaboración entre población, agencias gubernamentales y organismos involucrados.

En conclusión, las ciencias básicas y aplicadas acerca del CC precisan ser vinculadas al diseño de políticas públicas fundamentadas en el saber científico. Estamos hablando de generación y aplicación del conocimiento con fines precisos que desemboquen en acciones tanto de mitigación como de adaptación ante esta problemática en el territorio veracruzano.

La economía veracruzana: Una aproximación empírica

Rogelio Javier Rendón Hernández

Facultad de Economía, Universidad Veracruzana

rrendon@uv.mx

Resumen

En Veracruz, al igual que en todas las regiones del planeta, se manifiesta la relación entre el cambio climático y el funcionamiento del sistema económico a través de costos que el primero genera incidiendo de forma negativa en el bienestar de la población, por lo que es necesaria la elaboración de políticas públicas y económicas que aminoren el daño. El presente trabajo tiene por objetivo aproximarse al análisis empírico de los costos que el cambio climático genera en los sectores principales de la economía veracruzana, además de resaltar la necesidad inmediata de realizar estudios a profundidad para la entidad y la toma de decisiones en cuanto a acciones de mitigación y adaptación del cambio climático para Veracruz y sus regiones.

Preliminares

Uno de los objetivos que se plantea toda sociedad es el crecimiento económico porque permite no solo mayor producción de bienes y servicios para la población, sino que además fomenta la generación de empleo, aumenta el nivel de ingreso y, por lo tanto, contribuye al bienestar de la población. Son diversos los determinantes del crecimiento económico, por ejemplo: la tecnología, el capital humano, la tasa de ahorro, la cultura, la salud, así como el clima y los recursos naturales, entre otros factores tangibles e intangibles.

El clima y los recursos naturales pueden ser considerados causa y efecto del crecimiento económico; sin embargo, cuando se consideran como efecto, se ha observado en las últimas décadas que, en el desarrollo de las actividades económicas cotidianas, el ser humano incide de forma negativa en ellos. Ya lo planteaban Meadows *et al.*, 1972: 11-12: “la población mundial [...] utiliza a tasa acelerada los recursos naturales disponibles, causa daños con frecuencia irreparables al medio ambiente y pone en peligro el equilibrio ecológico global [...]” es decir, contribuye al cambio climático.

El cambio climático ha generado diversos problemas no solo de carácter ambiental, sino también económico, como lo señala un número considerable de estudios e investigaciones al respecto: Tejeda y Rodríguez, 2007; Calva, 2012; Boyd e Ibararán, 2011; Galindo y Caballero, s/f; Carvajal, 2013; Greenpeace, 2010 y Galindo, 2009. Este último señala que el cambio climático genera costos económicos importantes para la economía mexicana, de comportamiento creciente, no lineales y no siempre de carácter monetario, que plantean riesgos y generan incertidumbre. Esos costos, de acuerdo con Boyd e Ibararán (2011) se reflejarán en la economía, vía cantidad y calidad de recursos disminuidos. Lo que implica menor productividad y un deterioro en el nivel de vida de la población, afectando más a quienes menos tienen, por lo que es necesario actuar inmediatamente para evitar seguir dañando al ambiente.

Con base en lo anterior, y desde la perspectiva económica, el presente trabajo tiene por objetivo identificar y describir los costos que el cambio climático genera en los principales sectores de la economía veracruzana, con la finalidad de que sirva de base para el diseño de políticas públicas eficaces frente al cambio climático en la entidad.

Economía del cambio climático

Por las causas antropogénicas del cambio climático, así como por sus efectos sobre el sistema económico, en las últimas cinco décadas, a partir del trabajo pionero de W. Nordhaus, se han empleado las técnicas de análisis económico al estudio de los aspectos económicos y sociales del cambio climático, por su influencia sobre el ritmo de crecimiento y desarrollo económicos, lo mismo que en la economía de los países. Esto con la finalidad de identificar los factores económicos sobre los que se puede incidir con acciones de mitigación y/o adaptación al cambio climático a través del diseño, implementación, seguimiento y evaluación de políticas

públicas, derivando así de la rama de la economía la denominada economía del cambio climático.

Desde el enfoque económico, el cambio climático representa una externalidad negativa global (Stern, 2007, en Galindo y Caballero, s/f), porque la atmósfera es un bien público que se utiliza sin incurrir en ningún costo económico y acumula gases de efecto invernadero producido por diversas actividades económicas (Galindo y Caballero, s/f). De igual manera, los estudiosos afirman que el análisis económico del cambio climático tiene las siguientes características:

- El cambio climático es un fenómeno global que se manifiesta de manera muy heterogénea por regiones con efectos asimétricos importantes.
- El cambio climático es un fenómeno de largo plazo con un elevado nivel de incertidumbre.
- El cambio climático contiene un nivel de riesgo elevado y, en este sentido, se convierte, desde el punto de vista del análisis económico, en un proceso que debe administrarse de manera apropiada.

El análisis económico del cambio climático –continúan los autores Galindo y Caballero–, no obstante estas características y limitaciones, resulta, desde la óptica de la política pública y de la sociedad en general, un instrumento fundamental. Permite identificar opciones y alternativas para construir estrategias de desarrollo sostenible y proteger para las generaciones futuras nuestros recursos naturales y ecosistemas más allá de su valor económico.

Con base en la teoría económica se pueden establecer las relaciones entre agentes económicos y las actividades que realizan, identificando las causas y consecuencias del cambio climático en la economía de un país. Así, el actual modelo de producción de un gran número de países en el mundo (con sistemas que incluyen economías, en su mayoría, de mercado, social de mercado, mixtas, entre otras variantes) se basa en el sector externo, a través de las relaciones comerciales y financieras entre países; un contexto de globalización en el que los procesos de planeación, producción, distribución, venta y consumo de las mercancías está fragmentado entre diferentes regiones del planeta buscando minimizar costos. Esta división, por lo general, implica el uso ineficiente e irracional de los recursos con que cuenta cada región, explotándolos sin criterios de sustentabilidad y generando problemas, como agotamiento de los recursos, degradación del ambiente, contaminación, desempleo, insuficientes o nulos ingresos, pobreza, enfermedades, bajo nivel educativo, distribución desigual de la riqueza, delincuencia, y, por consiguiente, mínimo crecimiento económico.

Lo anterior condiciona y caracteriza el desarrollo de las actividades económicas de los países o regiones (ocasionando gases de efecto invernadero (GEI), no solo en la forma de producir, sino en la generación de costos o en el incremento de los mismos, lo cual resulta en la inaccesibilidad de la población a tal producto o servicio, y en la disminución del bienestar. Esos gastos, aunque son generados por una región, se manifiestan en las diferentes zonas del planeta, aunque no de forma homogénea:

[...] los efectos del cambio climático afectan mayormente a los sectores más pobres del orbe, en especial aquellos que se encuentran ubicados en zonas de alto riesgo, como pueden ser los países [regiones] de baja altitud y otros países insulares pequeños, los países con zonas costeras bajas, zonas áridas y semiáridas o zonas expuestas a inundaciones, sequía y desertificación, y los países en desarrollo [o regiones con bajo índice de desarrollo económico] con ecosistemas montañosos frágiles, lo que genera que su capacidad de adaptación sea más limitada (Corado de Paz, 2017: 19).

Los más afectando son los individuos en vulnerabilidad que viven en comunidades rurales, en situación de pobreza y pueblos indígenas. “De ahí que la comunidad internacional haya reconocido los efectos adversos del cambio climático, principalmente en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto” (*Idem*).

Los costos económicos del cambio climático

Los costos económicos del cambio climático presentes y futuros, así como sus implicaciones han sido analizados por diversos autores (Carvajal, 2013) (Galindo y Caballero, s/f). Boyd e Ibararán (2011) realizaron un estudio sobre los impactos y costos del cambio climático en nuestro país, los cuales se concretan en una menor cantidad y calidad de recursos, la cual se deriva de la inercia en el uso de los recursos y servicios ambientales, característica del crecimiento económico del país y del contexto socioeconómico; considerando que la sequía es el efecto esperado más importante del cambio climático.

Para Galindo y Caballero (s/f) los costos del cambio climático originados de los impactos directos, de los procesos de adaptación a las nuevas condiciones climáticas y de los de mitigación requeridos, implican una restricción presupuestal adicional y la necesidad de buscar alternativas de crecimiento, que consisten en un desarrollo sostenible (ver Tabla 1 de la “Introducción” a este libro).

Stern (2007, en Galindo y Caballero, s/f) estima que los costos de la inacción implican perder entre 5 y 13 % del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que los de mitigación llegan a solo 1 %, aunque con un rango de variación de entre -2 y 5 %. Para México, los costos del cambio climático alcanzan al 2100, con una tasa de descuento del 4 %, alrededor del 6.2 % del PIB y llegan hasta el 30 % con una tasa del 0.5 %, sin considerar impactos adicionales, como eventos extremos, costos relacionados con la biodiversidad y la vida humana por la ausencia de un mercado. Boyd e Ibararán al respecto determinan que:

En principio, el cambio climático implica una reducción del PIB [...] equivalente a 1.1 por ciento anual. Asimismo, se reducen la inversión y el acervo final de capital mientras se reduce la producción de los sectores primarios. Este costo tiene un claro efecto en bienestar que, además, es regresivo al reducir proporcionalmente más el bienestar de los grupos de menores ingresos debido a que su consumo se centra fuertemente en bienes agropecuarios [...] los sectores productivos más afectados son la agricultura en más de 11 por ciento, la ganadería en 10 por ciento y el sector forestal, en 15 por ciento; pero en general todos los sectores productivos sufren caídas debido a su relación con estos sectores primarios. Solamente el sector petrolero muestra un pequeño incremento en su producción, debido a su vocación exportadora y, mientras más importaciones son requeridas en el sector agrícola para contrarrestar el efecto negativo de la sequía, se exporta más petróleo para tener divisas y poder financiar estas importaciones. Finalmente, por el lado del consumo, para 2030 el consumo de todos los sectores se ve reducido, sobre todo el de los productos alimenticios (2011: 125-126).

Para el cálculo de los costos económicos del cambio climático se han utilizado diferentes modelos econométricos que consideran las principales variables y parámetros relacionados con el clima, modelos de evaluación integrada, modelos económicos utilizados en el informe Stern, entre otros. Galindo *et al.* afirman que:

[...] los métodos de estimación de impactos económicos en los sectores de agricultura, el sector hídrico, el sector salud, la biodiversidad, son variados y todos conllevan un nivel importante de incertidumbre y son sensibles a la elección de los supuestos, sin embargo, permiten realizar escenarios sobre los potenciales impactos del cambio climático y, en algunos casos permite la estimación de diversas actividades de adaptación (2014: 6).

La economía veracruzana

Como ya se ha mencionado, los efectos y costos económicos del cambio climático son heterogéneos en las diferentes regiones, por lo que para poder dimensionarlos, así como para

diseñar políticas públicas de mitigación y adaptación, es necesario conocer las características económicas de la región de que se trate; para el caso que nos ocupa es la economía veracruzana.

Veracruz tiene una extensión territorial de 71 820 km² que equivale al 3.66 % de la superficie total del país, ocupando así el puesto número 11 entre los estados que conforman la república mexicana, de acuerdo con su extensión, y está dividido en 212 municipios. En 2015, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), tenía una población total de 8 127 832 habitantes; el último conteo (2010) registrado y revisado reveló que en la entidad había un total de 644 559 hablantes de alguna lengua indígena, y una tasa de desocupación del 3.26 % al segundo trimestre de 2018 (Tabla 1).

Tabla 1. Sectores económicos del Sistema de Cuentas Nacionales de México en Veracruz

11	Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	43 y 46	Comercio	54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	71	Servicios de esparcimiento, culturales y deportivos, y otros servicios recreativos
21	Minería	48 y 49	Transportes, correos y almacenamiento	55	Dirección de corporativos y empresas	72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas
22	Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	51	Información en medios masivos	56	Servicios de apoyo a los negocios, de manejo de desechos y servicios de remediación	81	Otros servicios, excepto actividades del gobierno
23	Construcción	52	Servicios financieros y de seguros	61	Servicios educativos	93	Actividades del gobierno
31-33	Industrias manufactureras	53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	62	Servicios de salud y de asistencia social		

Fuente: Elaboración propia con base en el documento *Estructura económica de Veracruz de Ignacio de la Llave en síntesis*, INEGI, 2016.

En lo que respecta a los indicadores económicos de coyuntura, en 2016 el PIB de la entidad fue de \$889 894 millones a precios corrientes, generado por 19 sectores de actividad.¹² Según cifras oficiales del INEGI¹³ la economía veracruzana creció 2.72 % en términos reales entre 2003 y 2014 ubicándose en la posición 19 a nivel nacional al crecer 0.1 % por arriba del promedio nacional. Tomando como referencia el año 2014 se tiene que las actividades primarias contribuyen al PIB local con 4.8 %, las secundarias con 36.7 % y las terciarias con 58.5 %. A pesar de que la participación del sector primario fue mayor que el promedio nacional (3.3 %), a nivel estatal las industrias manufactureras son las que definen la actividad productiva del estado, dado que representan 18.4 % de la economía y han posicionado al estado en el séptimo lugar a nivel nacional, por su participación en el PIB manufacturero del país (5.3 %).

Considerando la estructura económica por sectores, los ocho más importantes por su participación en el PIB (81.5 %) son: industrias manufactureras (18.4 %), comercio (15.9 %), servicios inmobiliarios (13.5 %), construcción (8.8 %), transportes (7.8 %), minería (6.9 %), servicios educativos (5.3 %) y agropecuario y forestal (4.8 %). En cuanto a su comportamiento a través del tiempo, el INEGI ofrece información para el periodo 2003-2014 con tasas de crecimiento anual, lo que permite distinguir que las actividades mineras son las que más han crecido, seguidas por los servicios financieros y de seguros.¹⁴ Mientras que las que disminuyeron su participación son las industrias manufactureras y el sector agropecuario y forestal 1.2 % y 0.93 %, aunque la tasa de crecimiento siga siendo positiva.

Centrándonos en las industrias manufactureras (Tabla 2), se tiene que, de los 12 subsectores que las integran, el más importante por su contribución al PIB (48 %) es el 324-326 fabricación de productos derivados del petróleo y carbón; industria química, industria de plástico y de hule, mostrando un crecimiento del 1.9 % durante el periodo 2003-2014. Los subsectores que le siguen son 311, industria alimentaria (27.5 %) y 331-332, industrias metálicas básicas (14.3 %); es decir, gran parte de actividades del sector manufacturero están concentradas en la industria alimentaria y derivados del petróleo, industria química e industria del plástico, las cuales se interrelacionan con el resto de los sectores.

¹² El INEGI clasifica las actividades de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN, 2007).

¹³ Este apartado se basa en la información publicada por el INEGI, *Estructura económica de Veracruz de Ignacio de la Llave en síntesis*, 2016.

¹⁴ A precios constantes 2008.

Tabla 2. Subsectores de la industria manufacturera del Sistema de Cuentas Nacionales de México

311	Industria alimentaria
312	Industria de las bebidas y del tabaco
313-314	Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles; fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir
315- 316	Fabricación de prendas de vestir; curtido y acabado de cuero y piel, fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos
321	Industria de la madera
322-323	Industria del papel; impresión e industrias conexas
324-326	Fabricación de productos derivados del petróleo y carbón; industria química; industrias del plástico y de hule
327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos
331-332	Industrias metálicas básicas; fabricación de productos metálicos
333-336	Fabricación de maquinaria y equipo; fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos; fabricación de accesorios, aparatos electrónicos y equipos de generación de energía eléctrica; fabricación de equipo de transporte
337	Fabricación de muebles, colchones y persianas
339	Otras industrias manufactureras

Fuente: Tomado de INEGI, *Estructura económica de Veracruz de Ignacio de la Llave en síntesis*, 2016: 13.

Los costos

Los efectos del cambio climático no distinguen fronteras entre países ni al interior de estos, ignorando el sistema y/o sector económico en los que se hayan originado algunos de los factores que contribuyen al cambio climático, sean de carácter natural o antropógenos; más aún si en la región de que se trate se realizan actividades económicas que producen, de manera colateral GEI, los efectos pueden exacerbarse por las acciones de otras regiones geográficas.

En el caso de Veracruz, el cambio climático puede tener una serie de efectos de índole no solo ambiental sino económico, debido a la vulnerabilidad que posee derivada de la situación geográfica, la extensión de litoral, variedad de regiones con clima propio, asentamientos humanos (tanto urbanos como rurales) en zonas de riesgo, superficie con posibilidad de inundaciones, extensión de tierras boscosas, tipo y clase de cultivos, así como la población ocupada en los sectores de actividad económica que reciben los impactos del cambio climático.

Aunque es evidente lo anterior, en el estado (a diferencia de otras entidades de México) no se han realizado suficientes estudios y análisis de carácter económico, aplicando técnicas y modelos existentes, que permitan calcular en específico los costos en cada uno de los sectores económicos por su efecto en el PIB, el empleo y otras variables. Esto puede deberse a la falta o insuficiencia de información en la estimación de emisión de GEI y de otros aspectos. Cabe mencionar que el estudio detallado se está considerando en una etapa siguiente del análisis, que permita tomarse como referencia en la implementación de acciones de mitigación y adaptación del cambio climático en Veracruz y/o sus regiones.

No obstante, los sectores y los costos económicos implícitos se pueden identificar de manera empírica –que es el objetivo del presente ensayo–, aunque para su estimación puntual sea necesario tener presente la limitación que ocasiona el grado de incertidumbre respecto a los cambios del clima y a la presencia de eventos extremos.

Con base en las características que definen el perfil económico de Veracruz es posible tener un panorama general que permita identificar, salvo el análisis detallado y específico, los costos económicos del cambio climático. Estos pueden ser utilizados como referencia para el diseño, implementación y evaluación de políticas públicas con acciones específicas, que conduzcan a la mitigación o adaptación del cambio climático en el estado; donde aún sin un estudio riguroso se observan los efectos del mismo en la economía al disminuir el tipo, cantidad y calidad de bienes (principalmente de origen agrícola y pecuario) disponibles para el consumo. Sumado a ello tenemos el abandono del campo por baja productividad, rentabilidad, producción en cultivos que dependen de la precipitación pluvial, motivando a la emigración hacia otras regiones del país o el extranjero, con la problemática que la movilidad ocasiona.

Cabe señalar que, aunque para fines de registro del INEGI u otras instituciones, las actividades económicas se agrupan de acuerdo con una clasificación específica. Así, tales actividades se interrelacionan siendo causa y efecto del cambio climático y de sus costos, generando desequilibrios sectoriales y efectos multiplicadores, que en la mayoría de los casos se convierten en externalidades negativas a los procesos de producción, incidiendo de manera directa en el PIB.

En principio, se puede afirmar que los tres sectores (primario, secundario y terciario) en el estado de Veracruz son impactados por el aumento de la temperatura, la escasez de agua y, por lo tanto, la presencia de sequías de mayor duración e intensidad inherentes al cambio climático, aunque en diferente magnitud, en función del uso de los factores productivos y los agentes económicos que participan en el proceso de producción.

En el sector primario, los costos en que se incurre son directamente sobre el volumen de producción agrícola, de temporal o de riego, provocando escasez de productos con posibilidad de insuficiencia alimentaria, alentando las importaciones y contribuyendo al desempleo en el sector. La falta de agua como insumo eleva los costos de producción que el productor traslada al precio final, lo cual es causa de un proceso inflacionario por el tipo de bien de que se trata.

Aunque la actividad pesquera en el estado no presenta un alto desarrollo, es fuente de empleo directo e indirecto, además de ingreso para cientos de familias, por lo que un aumento de la temperatura en los mares, océanos y nivel del mar disminuiría el volumen de pesca con resultados similares a los de la actividad agrícola.

Veracruz cuenta con vasta superficie de árboles maderables, que ante los efectos del cambio climático merma su producción, pero además intensifica el cambio climático, al igual que el cambio de uso de suelo por los costos generados en este sector y el agrícola.

En otro de los siete sectores más importantes en el estado, el de industrias manufactureras, 11 de los 12 subsectores que lo integran utilizan insumos directamente del sector primario, por lo que los costos en este último se transmiten a la manufactura vía precios, disponibilidad de insumos y materia prima, reduciendo la producción total y aumentando las importaciones de productos sustitutos. El subsector 333-336: fabricación de maquinaria y equipo; fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos; fabricación de accesorios, aparatos electrónicos y equipos de generación de energía eléctrica; fabricación de equipo de transporte, también tiene costos, pero por el uso de energía más cara. De tal manera que, igual que al resto de la industria manufacturera, el costo del cambio climático se vería reflejado en el aumento de precios de bienes y servicios de consumo final, desempleo en ese ramo y disminución de la tasa de crecimiento del sector que más contribuye al PIB.

Respecto al comercio y los transportes, el impacto está en la reducción de la demanda de sus servicios por el aumento en los costos de producción; mientras que el sector de servicios inmobiliarios tiene efectos por el cambio en el uso de suelo o por la vulnerabilidad que tienen algunas áreas por su ubicación y propensión a inundaciones. En cuanto al sector de servicios educativos, no tiene impactos directos. Por último, en lo que corresponde a construcción y minería, el cambio climático aumenta su vulnerabilidad al utilizar insumos provenientes de la explotación del suelo y subsuelo, así como del uso de agua.

Conclusiones y recomendaciones

El presente ensayo proporciona una visión general de los sectores económicos afectados en potencia por el cambio climático en Veracruz, mediante un análisis empírico. También se argumentó que la economía del estado, al igual que la de otras entidades de México, no está exenta de los efectos del cambio climático y de los costos implícitos que, aunque son heterogéneos por sector de actividad económica, afectan a todos con el común denominador de que el principal perjuicio es: la disminución del nivel de bienestar de la población.

En el presente documento se presentaron de forma empírica los impactos y efectos económicos y sociales potenciales, reforzando el planteamiento de que es urgente e impostergable tomar decisiones y actuar con medidas precisas que contribuyan a disminuir los costos mencionados, además de realizar acciones que conduzcan a controlar la emisión de GEI en la entidad. Para diseñar e implementar tales acciones es necesario realizar un análisis más detallado, así como calcular los costos económicos utilizando alguno de los modelos existentes y/o construir uno específico que incorporen el riesgo e incertidumbre que caracteriza al cambio climático global para la entidad. De tal manera que, con base en los resultados, sea posible identificar con claridad los efectos en los diferentes sectores y actividades económicas, lo mismo que en la sociedad en general, para que se diseñen políticas públicas y económicas eficaces, en lo que respecta a la mitigación y adaptación del cambio climático en Veracruz.

Esa estimación, que por el momento no se considera en el presente ensayo, es una actividad por desarrollar si se pretende contribuir a la preservación del ambiente y garantizar el uso racional de los factores productivos, así como la eficiencia económica, porque de esta manera se identificará la problemática generada y las alternativas de solución, que incluyan instrumentos económicos y financieros. Así, se tendrá información específica del costo en términos del PIB, cuánto del presupuesto se requiere destinar a la implementación de políticas, el costo-beneficio y/o costo-efectividad de estas, además de identificar cuáles son los sectores económicos más vulnerables respecto del cambio climático sobre los que es necesario actuar.

Por último, es requisito y recomendación que en este proceso participen de forma activa y coordinada el gobierno, instituciones de educación superior, centros de investigación, organismos no gubernamentales y la sociedad en general. Todos con un mismo objetivo: reducir los daños provocados por el cambio climático con miras a un mayor desarrollo y bienestar de la población actual y de las generaciones futuras.

Nuevo marco jurídico sobre el cambio climático

Tania García López

Universidad Veracruzana

tagarcia@uv.mx

Resumen

La Convención Marco sobre el Cambio Climático o Acuerdo de París, firmada por México en el año 2016, ha supuesto importantes cambios en el marco jurídico mexicano para la protección de la atmósfera. Dichos cambios, si bien han sido incorporados plenamente por la legislación nacional, todavía no han sido incorporados en algunos de los estados, como es el caso de Veracruz. Este trabajo estudia las principales reformas que se han dado en la Ley General de Cambio Climático y reflexiona sobre las transformaciones necesarias en el marco jurídico veracruzano para adecuarse a estas.

Antecedentes

En el año 2015 se adoptó en París la Convención Marco sobre el Cambio Climático, la cual, se abrió a la firma de los países en abril de 2016 y se estructura bajo la técnica de la “asimetría convencional”, la cual se basa en diferenciar las obligaciones de los Estados. Dicha técnica se basa, a su vez, en el principio de responsabilidad común pero diferenciada. Este principio parte de la base de la responsabilidad compartida por todos en materia ambiental, acentuando que no todos tenemos el mismo nivel o grado de responsabilidad, ya que este depende de diferentes factores.

En 1972, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo, ya se incluía dentro de la Declaración Final, un principio que evocaba la idea de apoyar de manera económica a los países menos desarrollados en la tarea de proteger el medio ambiente, así como la necesidad de proporcionarles, para tal fin, más asistencia técnica y financiera (artículo 12). Sin embargo, el artículo 24 señalaba expresamente: “Todos los países, grandes o pequeños, deben ocuparse **con espíritu de cooperación y en pie de igualdad**¹⁵ de las cuestiones internacionales relativas a la protección y mejoramiento del medio”.

De conformidad con la Resolución 2625 (XXV) de la Asamblea General de las Naciones Unidas: “Todos los Estados gozan de igualdad soberana. Tienen iguales derechos e iguales deberes y son por igual miembros de la comunidad internacional, pese a sus diferencias de orden económico, social, político o de otra índole” (Rodríguez, 2002: 59).

Hoy por hoy, sin embargo, y como pone de relieve Rodríguez Carrión:

[...] se ha suavizado en gran medida la ficción de la igualdad soberana de los Estados, que si bien queda como propósito o aspiración constitucional internacional, es limitada por la existencia de normas jurídicas que reconocen la privilegiada situación política de algunos Estados y, en este sentido, parecen abocadas a mantener las situaciones de desigualdad política, junto a normas que establecen medidas de discriminación positiva para la efectiva consecución de la igualdad de todos los Estados, como son las normas que matizan el contenido de los derechos y deberes económicos de los distintos Estados, o aquellas otras que toman en consideración las circunstancias geográficas desventajosas de los Estados (*Idem*).

En los trabajos previos a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992, así como en la propia Resolución de la Asamblea General (1989) invitando a dicha Conferencia, se reconocía que: “Las medidas que deben adoptarse internacionalmente para proteger y mejorar el ambiente deben tener en cuenta los desequilibrios existentes en las modalidades mundiales de producción y de consumo”; además de que: “la responsabilidad de controlar, reducir y eliminar los atentados contra el medio ambiente debe incumbir a los países que los causan de tal forma que guarde relación con los daños causados y esté en función de sus respectivas capacidades y responsabilidades”.

Durante los trabajos de la Conferencia de Río estuvieron presentes, en todo momento, los puntos de vista de los países menos desarrollados, los cuales sostenían que la Comunidad Internacional debía reconocer que la pobreza es causa y efecto de la degradación del medio ambiente local y que el progreso de los países industrializados había descansado en la

¹⁵ Las negritas de énfasis son de la autora de este apartado.

deforestación y sobreexplotación de los recursos naturales. Al obrar de esta manera, esos países habrían contraído una “deuda ecológica” con el mundo, que implica la obligación de apoyar un desarrollo de los demás que no deteriore todavía más el delicado equilibrio del medio ambiente (Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, 1996: 44).

De esta manera, los países más ricos deberían admitir la necesidad de soportar de forma equitativa el esfuerzo económico de la prevención y el control de la contaminación. El reparto de la carga económica debería reflejar esa deuda ambiental acumulada, de la cual, los países ricos serían responsables.

A partir de este momento, el tema toma un cariz en su totalidad original, en la medida en que se pretende establecer una desigualdad jurídica de los Estados como punto de partida de los derechos y obligaciones que van a adquirir los sujetos internacionales en los acuerdos por adoptar con posterioridad; cuestión esta sin parangón en el Derecho Internacional Público.

El principio n° 7 de la Declaración de Río establece con claridad el principio de responsabilidad común, pero diferenciada, al disponer: “Los Estados deberán cooperar con espíritu de solidaridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra. En vista de que han contribuido en distinta medida a la degradación del medio ambiente mundial, los Estados tienen responsabilidades comunes pero diferenciadas”.

En la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, celebrada en Johannesburgo, además de reafirmarse de manera general los principios de la Declaración de Río, se señala que “sigue siendo válido el principio de la responsabilidad común pero diferenciada”. Por su parte, la Declaración de “Río+20” expresa: “Reafirmamos todos los principios de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en particular, entre otros, el de las responsabilidades comunes pero diferenciadas, enunciado en su principio 7” (2012). A partir de la Conferencia de Río se empiezan a plasmar en los tratados internacionales las consecuencias de este principio, a saber: las diferencias en las obligaciones contraídas por los sujetos de la comunidad internacional. Es precisamente en el ámbito de la protección de la atmósfera, donde encontramos un mayor número de disposiciones basadas en este principio.

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1992 constituye un claro ejemplo de estructuración bajo el principio de responsabilidad común pero diferenciada. Esta Convención establece desde su artículo número 1 una distinción entre objetivos generales aplicables a todos los países y obligaciones específicas reservadas solo para los países desarrollados.

El artículo 3, que establece los principios que guiarán la Convención, hace referencia a: “las responsabilidades comunes pero diferenciadas de las Partes” sobre la base de la equidad y de conformidad con sus respectivas capacidades.

El Protocolo complementario a esta Convención, el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1997), cuantifica en el Anexo B las limitaciones o reducciones de una serie de sustancias, enumeradas en el Anexo A, para cada país. Los compromisos adoptados por cada país se encuentran especificados y diferenciados de acuerdo con sus niveles de emisión de 1990; hay algunos que, incluso, pueden aumentar sus emisiones.¹⁶

Compromisos de México ante el Acuerdo de París

El Acuerdo de París de 2015 sobre Cambio Climático enuncia el principio, ya desde el preámbulo, al señalar que este tratado se basa en los principios de equidad y de las responsabilidades comunes pero diferenciadas, a la luz de las distintas circunstancias nacionales (CMNUCC, 2015). Además, reconoce las necesidades y contextos especiales de los países en desarrollo, con relación a los efectos adversos del cambio climático y de sus necesidades de financiación y transferencia de tecnología.

En el artículo 2 se reafirma el principio y se señala que su aplicación tendrá que reflejar “la equidad y el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas y las capacidades respectivas, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales” (Artículo 2, CMNUCC, 2015).

El Acuerdo de París se basa en una serie de “contribuciones determinadas a nivel nacional” (NDC por sus siglas en inglés), las cuales establece cada país, precisamente con base en este principio y de acuerdo con “sus capacidades respectivas” y “circunstancias nacionales”.

En este sentido, hay quien apuntó que la única forma de conseguir ese acuerdo fue creando una “arquitectura legal” que reconociese las diferentes categorías de países, sus diferentes contribuciones al cambio climático y, por ende, sus distintas obligaciones en relación con la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero (Stern, 2015).

En el año 2016 México firmó y ratificó el Acuerdo de París, además de presentar sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional. En lo que se refiere a la mitigación, los

¹⁶ Australia, Islandia y Noruega.

compromisos adoptados por el país se centran en reducir 22 % de las emisiones de gases de efecto invernadero entre los años 2020 y 2030 y 51 % de las emisiones de carbono negro.¹⁷

En cuanto al componente de adaptación, este se integra por tres ejes: sector social con nueve acciones; infraestructura energética y de sectores productivos con seis acciones; y Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) con seis acciones.

La Ley General de Cambio Climático y la distribución de competencias

Derivado de los nuevos compromisos internacionales, México ha realizado diversas reformas en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) (2012); la última de ellas publicada en julio de 2018, en la que se incluyeron las siguientes disposiciones:

1. Dentro del artículo 2. VII se añade el objetivo de la “transición hacia una economía resiliente a los fenómenos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático” y se añade un párrafo VIII que señala, también como propósito de la ley:

Establecer las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París que tiene entre sus objetivos mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2° C, con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir con los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 15° C, con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático (Artículo 2, LGCC, 2018).

2. Dentro del artículo 3 se añaden las definiciones de: Acuerdo de París, contaminantes climáticos de vida corta, contribuciones determinadas a nivel nacional, carbono negro, CORSIA, Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), Política Nacional de Adaptación y Sistema de alerta temprana.
3. El artículo 7, que detalla las competencias de la Federación también sufrió cambios, en concreto dentro del párrafo III, relativo a la facultad de formular, conducir y publicar las contribuciones determinadas a nivel nacional, así como llevar a cabo su instrumentación, seguimiento y evaluación. Asimismo, el

¹⁷ De acuerdo con el artículo 3 de la Ley General de Cambio Climático, el carbono negro es el “material particulado producido por la combustión incompleta de combustibles fósiles o de biomasa, y que contribuye al calentamiento global como contaminante climático de vida corta”.

párrafo IV añade la facultad de elaborar, actualizar, publicar y aplicar la política nacional de adaptación.

4. El artículo 15, que se refiere al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) añadió, dentro del párrafo V, que este organismo colaborará en la elaboración de las contribuciones determinadas a nivel nacional.
5. En cuanto a los principios de política ambiental, incluidos dentro del artículo 26, se incluye en el párrafo XIII el principio de responsabilidad común pero diferenciada. También se añaden: “[...] el respeto a los derechos humanos, el derecho a la salud, los derechos de los pueblos indígenas, las comunidades locales, los migrantes, los niños, las personas con discapacidad y las personas en situación de vulnerabilidad y el derecho al desarrollo, así como la igualdad de género, el empoderamiento de la mujer y la equidad intergeneracional” (Artículo 26, LGCC, 2018).
Estos deberán respetarse de forma irrestricta al adoptar medidas para hacer frente al cambio climático.
6. En lo que se refiere al capítulo relativo a adaptación se añade un párrafo primero dentro del artículo 28, que establece que la federación debe elaborar una Política Nacional de Adaptación en el marco del Sistema Nacional de Cambio Climático.
7. En cuanto al capítulo III, referente a mitigación, el artículo 31 añadió, tras la reforma, que la política nacional de mitigación deberá considerar: “[...] las contribuciones determinadas a nivel nacional para el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París, el acceso a los recursos financieros, la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades, así como cualquier otro tratado internacional suscrito por el Estado mexicano en materia de cambio climático” (Artículo 31, LGCC, 2018).
Además, se añade que dicha política: “[...] debe cuidar que la línea base a comprometer por México no limite el crecimiento económico del país, y en la elaboración de dicha línea deben participar los sectores productivos, en coordinación con los organismos nacionales que intervengan en la política económica” (Artículo 31, LGCC, 2018).
8. Dentro de las atribuciones de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, el artículo 47 fracción IV añade la aprobación de las contribuciones determinadas a nivel nacional y el párrafo VI le otorga facultades para participar en la elaboración e instrumentación de la Política Nacional de Adaptación.

9. En cuanto a las atribuciones del Consejo de Cambio Climático, este, de acuerdo con el artículo 57. IV, será quien dará seguimiento a las contribuciones determinadas a nivel nacional.
10. Por lo que se refiere a los instrumentos de planeación, el artículo 58 suma la Política Nacional de Adaptación y las contribuciones determinadas a nivel nacional a la Estrategia Nacional, al Programa y a los programas de las entidades federativas.
11. Dentro de este mismo capítulo, el artículo 63 se refiere a la contribución nacionalmente determinada, y al proceso a través del cual se adopta; mientras que el artículo 64 añade, tras la reforma, que las acciones y objetivos de adaptación y mitigación tendrán como año límite el 2050, con metas intermedias de corto y mediano plazo.
12. En cuanto al capítulo V, que se refiere al Inventario de GEI (gases de efecto invernadero), se reforma el artículo 74 para detallar que los lineamientos y metodologías para la elaboración de dicho informe son los establecidos en el Acuerdo de París, la Convención, la Conferencia de las Partes y el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático.
13. Por lo que toca al Registro de emisiones generadas por fuentes fijas y móviles, establecido dentro del capítulo VIII, el artículo 87 exige, tras la reforma, que este debe hacerse público.
14. En lo que se refiere a los instrumentos económicos, el artículo 94 se reforma para incluir la obligatoriedad de establecer, por parte de la Secretaría, con la participación y consenso de la Comisión, el Consejo y la representación de los sectores participantes, un sistema de comercio de emisiones. Se cambia, entonces, dentro del artículo, la expresión “podrá establecer” por “se establecerá” y se añade que la Secretaría “elaborará y publicará las reducciones alcanzadas en toneladas de CO₂e y el porcentaje que representa en relación con las emisiones nacionales, así como el costo de implementación” (Artículo 94, LGCC, 2018). El artículo 95, por su parte, establece las bases para el intercambio de derechos de emisión con otros países.
15. Por último, el artículo 98, que se refiere a la evaluación de la política nacional de cambio climático, se modifica para remitirse a los mecanismos de evaluación periódica establecidos dentro del Acuerdo de París.

Competencias de los estados y de los municipios

El listado de competencias estatales y municipales en esta materia, de acuerdo con la LGCC es muy extenso. Según este cuerpo legal las facultades de los estados y de los municipios son las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Competencias de los estados en materia de lucha contra el cambio climático

Competencias normativas	Competencias de gestión	Competencias de vigilancia y control	Competencias para la elaboración de políticas públicas	Competencias de participación
<p>Regular las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, de acuerdo con la Estrategia Nacional y el Programa en las materias siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Preservación, restauración, manejo y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos hídricos de su competencia; 2. Seguridad alimentaria; 3. Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y acuicultura; 4. Educación; 5. Infraestructura y transporte eficiente y sustentable; 6. Ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y desarrollo urbano de los centros de población en coordinación con sus municipios o delegaciones; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestionar y administrar fondos locales para apoyar e implementar acciones en la materia; 2. Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia y despliegue de tecnologías, equipos y procesos para la mitigación y adaptación al cambio climático; 3. Establecer las bases e instrumentos para promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales para enfrentar al cambio climático; 4. Diseñar y promover el establecimiento y aplicación de incentivos que promuevan la ejecución de acciones para el cumplimiento del objeto de la ley; 5. Gestionar y administrar fondos estatales para apoyar e implementar las acciones en la materia; 6. Dirigir e instrumentar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, de acuerdo con la Estrategia Nacional y el Programa en las materias siguientes: 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer criterios y procedimientos para evaluar y vigilar el cumplimiento del programa estatal en la materia y establecer metas e indicadores de efectividad e impacto de las acciones de mitigación y adaptación que implementen, y 2. Vigilar, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento de la LGCC y los demás ordenamientos que de ella se deriven, así como sancionar su incumplimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formular, conducir y evaluar la política estatal en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional; 2. Incorporar en sus instrumentos de política ambiental, criterios de mitigación y adaptación al cambio climático; 3. Elaborar e instrumentar su programa en materia de cambio climático, promoviendo la participación social, escuchando y atendiendo a los sectores público, privado y sociedad en general; 4. Desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Celebrar convenios de coordinación con la federación, entidades federativas y los municipios y demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, para la implementación de acciones para la mitigación y adaptación, y 2. Promover la participación corresponsable de la sociedad en la adaptación y mitigación, de conformidad con lo dispuesto en las leyes locales aplicables.

<p>7. Recursos naturales y protección al ambiente dentro de su competencia;</p> <p>8. Residuos de manejo especial;</p> <p>9. Protección civil, y</p> <p>10. Prevención y atención de enfermedades derivadas de los efectos del cambio climático.</p>	<p>a) Preservación, restauración, manejo y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos hídricos de su competencia;</p> <p>b) Seguridad alimentaria;</p> <p>c) Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y acuicultura;</p> <p>d) Educación;</p> <p>e) Infraestructura y transporte eficiente y sustentable;</p> <p>f) Ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y desarrollo urbano de los centros de población en coordinación con sus municipios o delegaciones;</p> <p>g) Recursos naturales y protección al ambiente dentro de su competencia;</p> <p>h) Residuos de manejo especial;</p> <p>i) Protección civil, y</p> <p>j) Prevención y atención de enfermedades derivadas de los efectos del cambio climático;</p> <p>7. Convenir con los sectores social y privado la realización de acciones e inversiones concertadas hacia el cumplimiento de su programa.</p>		<p>para impulsar el transporte eficiente y sustentable, público y privado;</p> <p>5. Realizar campañas de educación e información para sensibilizar a la población sobre los efectos adversos del cambio climático;</p> <p>6. Elaborar e integrar, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción, para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones y en su caso, integrar el inventario estatal de emisiones, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia, y</p> <p>7. Elaborar, publicar y actualizar el atlas estatal de riesgo, en coordinación con los municipios o delegaciones, conforme a los criterios emitidos por la federación.</p>	
--	--	--	---	--

Fuente: LGCC, 2018.

Tabla 2. Competencias de los municipios

Competencias normativas	Competencias de gestión	Competencias de vigilancia y control	Competencias para la elaboración de políticas públicas	Competencias de participación
<p>Expedir las disposiciones legales necesarias para regular las materias de su competencia previstas en la LGCC.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestionar y administrar recursos para ejecutar acciones de adaptación y mitigación ante el cambio climático, y 2. Realizar acciones para enfrentar al cambio climático en congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional, el Programa, el Programa estatal en materia de cambio climático y con las leyes aplicables, en las siguientes materias: <ol style="list-style-type: none"> a. Prestación del servicio de agua potable y saneamiento; b. Ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano; c. Recursos naturales y protección al ambiente de su competencia; d. Protección civil; e. Manejo de residuos sólidos municipales; f. Transporte público de pasajeros eficiente y sustentable en su ámbito jurisdiccional. 	<p>Vigilar y promover, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento de la LGCC, sus disposiciones reglamentarias y los demás ordenamientos que deriven de ella.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formular, conducir y evaluar la política municipal en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional y estatal; 2. Formular e instrumentar políticas y acciones para enfrentar al cambio climático en congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional, el Programa, el Programa estatal en materia de cambio climático y con las leyes aplicables, en las siguientes materias: <ol style="list-style-type: none"> a. Prestación del servicio de agua potable y saneamiento; b. Ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano; c. Recursos naturales y protección al ambiente de su competencia; d. Protección civil; e. Manejo de residuos sólidos municipales; f. Transporte público de pasajeros eficiente y sustentable en su ámbito jurisdiccional; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Participar en el diseño y aplicación de incentivos que promuevan acciones para el cumplimiento del objeto de la LGCC; 2. Coadyuvar con las autoridades federales y estatales en la instrumentación de la Estrategia Nacional, el programa y el programa estatal en la materia; 3. Coordinarse y/o asociarse para una eficiente implementación de sus facultades legales, con acuerdo de sus ayuntamientos y 4. Suscribir convenios de coordinación o concertación con la sociedad en materia de cambio climático que, entre otros elementos incluirán las acciones, lugar, metas y aportaciones financieras que corresponda realizar a cada parte.

			<ol style="list-style-type: none"> 3. Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia y despliegue de tecnologías, equipos y procesos para la mitigación y adaptación al cambio climático; 4. Desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación al cambio climático para impulsar el transporte eficiente y sustentable, público y privado; 5. Realizar campañas de educación e información, en coordinación con el gobierno estatal y federal, para sensibilizar a la población sobre los efectos adversos del cambio climático; 6. Promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales para la mitigación y adaptación, y 7. Elaborar e integrar, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de Fuentes Emisoras que se originan en su territorio, para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia. 	
--	--	--	---	--

Fuente: LGCC, 2018.

La Ley Estatal de Cambio Climático del estado de Veracruz

La Ley Número 878 Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Veracruz fue expedida en 2010, dos años antes que la LGCC y cinco antes de la firma del Acuerdo de París, por lo cual no se basa en dichos ordenamientos jurídicos. La distribución de competencias prevista en esta, tanto para el estado como para los municipios, no concuerda con la analizada en la LGCC y, aunque hace mucho énfasis en la coordinación de acciones, en la participación pública y en la información, cuestiones previstas también en la LGCC y en el Acuerdo de París, es necesario adecuarla a estas normas jurídicas, de preferencia, a través de una nueva ley que incorpore y desarrolle las numerosas facultades ya expresadas en el apartado anterior y que plasme, al mismo tiempo, las tendencias internacionales y nacionales respecto del principio de responsabilidad común pero diferenciada.

Resultados y discusión

El Acuerdo de París ha supuesto, sin duda, cambios en el marco jurídico internacional relativos a la lucha contra el cambio climático que México ha adoptado a nivel interno de manera amplia.

Tras la más reciente reforma de la LGCC se incorporan todos los principios que deben regir la protección de la atmósfera a nivel nacional. Así, el precepto de responsabilidad común pero diferenciada debiera generar una carga desigual para los estados de la república, la cual reconociese la contribución desigual que en materia de emisiones han hecho, a través de la historia, las entidades federativas.

Veracruz, a través de su actual ley estatal de cambio climático, no refleja su capacidad de adaptación ni los retos en materia de mitigación de emisiones ni la posibilidad de poner en marcha nuevos instrumentos que permitan generar políticas y recursos, para que se reconozca la deuda energética histórica de otros estados hacia una entidad en la que se ha generado una buena parte de la energía que se consume en el país desde hace años, así como las externalidades ambientales que su producción han dejado para la población.

Por otra parte, la enorme capacidad de adaptación de Veracruz basada en ecosistemas, que es uno de los grandes ejes temáticos del Acuerdo de París, a través de sus cientos de kilómetros de zonas costeras, muchas de las cuales albergan manglares de gran relevancia,

tampoco es incluida en este ordenamiento estatal. Al contrario, en la entidad, la tasa de deforestación, incluso en esas regiones, sigue siendo alta, lo cual es, además, una tendencia generalizada en todos los países de América Latina, como han puesto de relieve diversos autores (Curtis *et al.*, 2018: 1108-1111).

Así las cosas, es necesaria la elaboración de una nueva ley estatal de cambio climático para Veracruz, que refuerce y enfatice dichos aspectos y que sea más enérgica en cuanto a su postura frente a los retos y las oportunidades que el cambio climático genera.

Aunado a lo anterior, y ya desde una óptica institucional, no debemos perder de vista que la LGCC prevé la creación de delegaciones del INECC en los estados. Así, el artículo 14 dispone: “Artículo 14. El INECC tendrá su domicilio en la Ciudad de México, pudiendo establecer delegaciones regionales o estatales necesarias para cumplir su objeto de acuerdo con la disponibilidad presupuestal” (LGCC, 2018).

La creación de una delegación del INECC, de acuerdo con lo previsto por la LGCC, muy posterior a la ley estatal, como ya hemos señalado, ayudaría enormemente a mejorar la gestión y las políticas públicas estatales en la materia, redundando, por ende, en el mejoramiento de la estrategia general de acción climática en el país.

Conclusiones y recomendaciones

Primera. La Convención Marco sobre el Cambio Climático de 2015 o Acuerdo de París descansa en el principio de responsabilidad común pero diferenciada, de acuerdo con el cual no todos tenemos el mismo nivel de responsabilidad en materia ambiental, lo cual se traduce en obligaciones diferenciadas. Dicho principio se ha incluido en la Ley General de Cambio Climático, tras la reforma de 2018, como uno de los principios de la política nacional en materia de cambio climático.

Segunda. Las reformas a la LGCC de 2018 incorporan los compromisos adquiridos por México en virtud del Acuerdo de París, y establecen la obligatoriedad de crear un mercado de certificados de emisión negociables, además de la posibilidad de que estos certificados se compren y vendan en otros países.

Tercera. El listado de competencias estatales y municipales en esta materia, de acuerdo con la Ley General de Cambio Climático es muy extenso e incluye facultades normativas, de gestión, de vigilancia y control, para la elaboración de políticas públicas y de participación.

Cuarta. La Ley Número 878 Estatal de Mitigación y Adaptación ante los efectos del Cambio Climático para el Estado de Veracruz fue expedida en 2010, dos años antes que la Ley General de Cambio Climático y cinco antes de la firma del Acuerdo de París, por lo cual no se basa en dichos ordenamientos jurídicos. La distribución de competencias prevista, tanto para el estado como para los municipios, no concuerda con la contenida en la LGCC y, aunque hace mucho énfasis en la coordinación de acciones, en la participación pública y en la información, cuestiones previstas también en la LGCC y en el Acuerdo de París, se aleja mucho de estos ordenamientos, además de que no descansa en el principio de responsabilidad común pero diferenciada.

Quinta. Es necesario adoptar en Veracruz una nueva ley que incorpore y desarrolle las numerosas facultades que, de acuerdo con la LGCC, tienen los estados y los municipios en materia de cambio climático, que plasme las tendencias internacionales respecto del principio de responsabilidad común pero diferenciada y que incorpore las modificaciones de la LGCC tras la reforma de esta.

Es recomendable crear una delegación del INECC en Veracruz, que refuerce la política estatal en materia de cambio climático y ayude a la consecución de los objetivos de las políticas públicas nacionales y estatales.

Ante el cambio climático, justicia climática

Ana Cecilia Conde Álvarez

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

conde@unam.mx

Resumen

Algunos autores señalan que estamos llegando a los límites planetarios, y que otras trayectorias de desarrollo social y económico son posibles. En paralelo a las negociaciones internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y para aumentar las capacidades de adaptación del cambio climático observado, diversas organizaciones de científicos, sociedad civil, jóvenes, pueblos originarios y mujeres, impulsan el concepto de justicia climática como alternativa para enfrentar este problema. En específico, esta posición sostiene que, si bien el cambio climático es un proceso de cambios atmosféricos y ambientales, debe verse, por sus causas y efectos, como un asunto político y ético. Emergen entonces análisis de las causas y consecuencias políticas de ese proceso, relacionadas con la devastación de los recursos naturales por grupos o sectores dominantes, que de suyo son inequitativos, así como el análisis de aumento de desigualdades tanto económicas como sociales que lo originan y lo agudizan. En la Agenda de Medio Ambiente 2018-2024 del gobierno entrante en diciembre de 2018, se delinearán elementos de una nueva política ambiental que pueden ser consistentes con la justicia climática, en particular a partir del enfoque biocéntrico que describe.

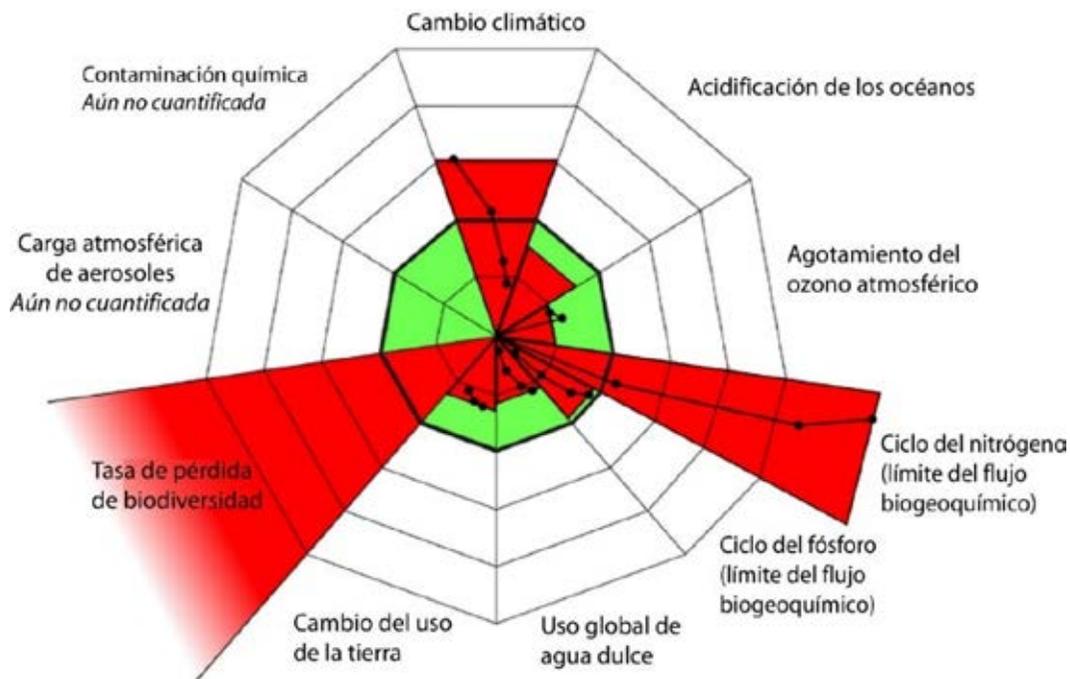
Preliminares

Diversos estudios ya apuntan a la grave situación que acarrea la pérdida de biodiversidad y de suelos fértiles (asociada al cambio en el ciclo de nitrógeno y al cambio de uso de suelo) y el proceso de cambio climático global, que son los tres procesos que han rebasado los llamados límites planetarios (Figura 1; Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2018). Los tres se retroalimentan, por lo que es urgente que las políticas ambientales los estudien de forma integral.

Agradecimientos

Agradezco al cuerpo académico CA-057 Desarrollo del Capitalismo Contemporáneo de la Facultad de Economía de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y al proyecto PAPIIT IN110318 de la UNAM.

Figura 1. Diagrama de los límites planetarios ante diversos causantes de deterioro ambiental, como la pérdida de biodiversidad, el límite del flujo bioquímico y el cambio climático



Fuente: Esquema basado en la figura 6 de Rockström, J. *et al.*, 2009.

El llamado Acuerdo de París (UNFCCC, 2015) entró en vigor en noviembre de 2016, con la ratificación de más de 100 países. En el preámbulo de este se establece lo que podría ser una guía para el abordaje integral mencionado:

Observando la importancia de garantizar la integridad de todos los ecosistemas, incluidos los océanos, y la protección de la biodiversidad, reconocida por algunas culturas como la Madre Tierra, y observando también la importancia que tiene para algunos del concepto de “justicia climática”, al adoptar medidas para hacer frente al cambio climático [...].

Entre otros aspectos relevantes, el Acuerdo establece un límite para el aumento de la temperatura global: “muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y de seguir esforzándose por limitar el aumento de la temperatura a 1.5 °C”. Cabe señalar que el aumento de temperatura registrado en el último reporte del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, 2013) fue de 0.85 °C.

En octubre de 2018, en respuesta a ese límite de temperatura acordado, el IPCC presentó el Reporte Especial en Calentamiento Global de 1.5 °C (SR1.5, 2018). En este se señala que es probable que se alcance ese 1.5 °C entre los años 2030 y 2052, si se continúan las emisiones de gases de efecto invernadero a la tasa actual. Eso significaría que la humanidad tendría menos de 35 años para actuar, lo que acentúa la importancia de acrecentar la ambición de reducción de emisiones, por un lado, pero también de aumentar las capacidades nacionales y regionales para enfrentar los impactos negativos que con seguridad traerá ese ascenso de temperatura.

Asociados a esos aumentos de temperatura (tanto en continentes como en océanos), se incrementarán los eventos extremos de temperatura y las precipitaciones, así como las sequías y el déficit de disponibilidad de agua. El punto central es que aún hay margen de acción y no se rebasarían umbrales críticos si se mantiene la temperatura global por debajo de los 2 °C.

Los impactos en los ecosistemas terrestres, costeros y marinos, incluyendo la pérdida y extinción de especies, pueden ser menores si el ascenso de temperatura global fuera de 1.5 °C en lugar de 2 °C, lo que permitiría, por ejemplo, conservar más servicios ecosistémicos para la humanidad. También se proyectan mayores impactos en la salud, seguridad alimentaria y desarrollo económico.

Todos esos riesgos asociados a ese aumento de temperatura dependen de la magnitud, tasa de calentamiento, posición geográfica y niveles de desarrollo y vulnerabilidad. Por ello, requerimos acrecentar nuestras capacidades de adaptación tanto a nivel nacional y como regional (Figura 2).

Figura 2. Comparación entre los posibles impactos con incrementos de temperatura global de 1.5 °C y 2 °C

		1.5°C	2°C	
Duración (mes) de onda de calor (cantidad de calor)				
	Global	1.1 [1;1.3]	1.5 [1.4,1.8]	Regiones tropicales hasta 2 meses a 1.5°C o 3 meses a 2°C.
Reducción en la disponibilidad anual del agua (%)				
	Mediterráneo	9 [5;16]	17 [8,28]	Otras regiones subtropicales como América Central o Sudáfrica también en riesgo.
Incremento en la Intensidad de la precipitación pesada (%)				
	Global	5 [4;6]	7 [5;7]	Incremento global en la intensidad debido al calentamiento; latitudes altas (>45°N) y mas afectaciones en regiones del monzón.
	Asia del Sur	7 [4;8]	10 [7;14]	
Aumento global en el nivel del mar				
	En 2100 [cm]	40 [30;55]	50 [35;65]	La tasa para finales del siglo es de 1.5°C aproximadamente 30% más baja que para 2°C, reduciendo el compromiso de la SLR a largo plazo.
	Rango 2081-2100 [mm/año]	4 [3;5.5]	5.5 [4;8]	
Fracción global de arrecifes de coral en riesgo por blanqueo anual (caso constante, %)				
	2050	90 [50;99]	98 [86;100]	Solo limitando el calentamiento a 1.5°C se puede dejar la ventana abierta para alguna adaptación al ecosistema.
	2100	70 [14;98]	99 [85;100]	
Cambios en los rendimientos locales de los cultivos sobre las áreas agrícolas globales y tropicales actuales, incluidos los efectos del CO₂- fertilización (%)				
Trigo	Global	2 [-6;17]	0 [-8;21]	Las reducciones de rendimiento proyectadas son mayores para las regiones tropicales, mientras que en las regiones de latitudes altas se puede ver un incremento. Las proyecciones que no incluyen altamente inciertos efectos positivos de CO ₂ - Y las reducciones del proyecto de fertilización para todos los tipos de cultivo de alrededor del 10 % a nivel mundial ya a 1.5°C y 2°C en futuras reducciones.
	Tropical	-9 [-25;12]	-16 [-42;14]	
Maiz	Global	-1 [-26;8]	-6 [-38;2]	
	Tropical	-3 [-10;2]	-6 [-19;2]	
Soya	Global	7 [-3;28]	1 [-12;34]	
	Tropical	6 [-3;23]	7 [-5;27]	
Arroz	Global	7 [-17;24]	7 [-14;27]	
	Tropical	6 [0;20]	6 [0;24]	

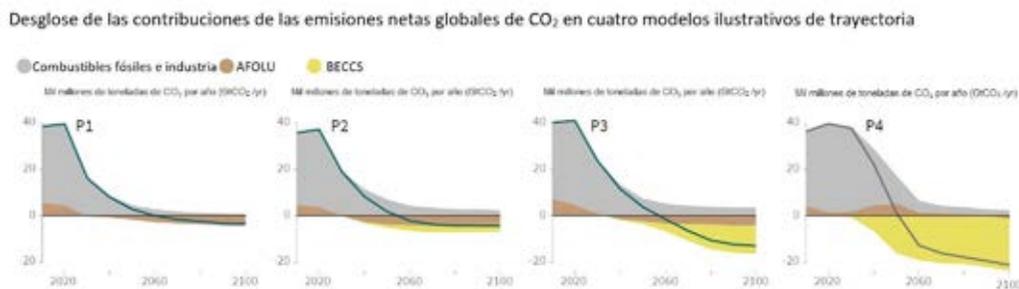
Fuente: Schleussner *et al.*, 2016.

Trayectorias futuras según el reporte especial

Según el Reporte Especial (SR1.5, 2018), existen diferentes trayectorias de desarrollo para limitar el aumento de temperatura global. Estas requerirán de una rápida y ambiciosa transición en energía, en el uso de la tierra, en la urbanización, en la infraestructura (incluyendo transporte y construcción), y en los procesos industriales. Estos cambios no tendrían precedentes en términos de escala e implicarían reducciones drásticas de las emisiones en todos los sectores, así como una amplia gama de opciones de mitigación y un aumento significativo de inversiones financieras para su desarrollo. Sería necesario que las emisiones netas globales de dióxido de carbono (CO₂) de origen humano disminuyeran en 2030 alrededor de 45 % respecto de los niveles de 2010, y seguir así hasta alcanzar el “cero neto” aproximadamente en 2050. Según el IPCC (2018) eso significaría que se necesitaría compensar cualquier emisión remanente por medio de remover CO₂ de la atmósfera.

En el reporte se plantean diferentes estrategias de mitigación (Figura 3) que pueden lograr las reducciones de emisiones netas que se requerirían para seguir una trayectoria que confine al calentamiento global a 1.5 °C. Todas las trayectorias descritas utilizan la eliminación de dióxido de carbono (CDR, por sus siglas en inglés), pero la cantidad varía según las trayectorias, al igual que las contribuciones relativas de bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS por sus siglas en inglés) y remociones en la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en inglés).

Figura 3. Ejemplos de trayectorias de reducción de emisiones de CO₂



Fuente: Traducción de figura SPM.3b del SR1.5 [http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf].

Visión crítica de las trayectorias del IPCC

El Reporte Especial del IPCC es un documento de suma importancia para la toma de decisiones a nivel internacional y nacional. Apunta no solo a los posibles impactos si la temperatura global rebasa los 1.5 °C propuestos en el Acuerdo de París, sino que también establece trayectorias posibles de desarrollo social y económico que pueden o no reducir la pobreza y ser consistentes con un desarrollo sostenible. Sin embargo, se han levantado voces críticas ante las posibles soluciones planteadas a ese reporte especial. Por ejemplo, Silvia Ribeiro (2018a, 2018b) señala:

[...] el informe falla en las propuestas sobre los caminos a tomar, ya que no cuestiona el *statu quo* económico ni la inequidad global sobre quienes han provocado y deben hacer inmediatamente una fuerte reducción de emisiones. Por evitar cuestionar los temas de fondo, incluye en sus propuestas tecnologías de alto riesgo, como las de geoingeniería, que no son ninguna solución e incluso podrían empeorar el desequilibrio climático.

A la par de la presentación del reporte especial del IPCC, se publicó un manifiesto por parte de 110 organizaciones sociales, científicos y activistas ambientales, señalando los peligros de implementar geoingenierías en la solución del problema ambiental que supone el cambio climático.¹⁸

En esencia, las geoingenierías (incluidas en tres de los escenarios propuestos en el reporte especial del IPCC, Figura 3) a las que se refiere el manifiesto están relacionadas con las tecnologías asociadas a la CDR, y con las de BECCS. En ambos casos, dichas tecnologías son fuertemente impulsadas por diversas compañías e industrias, pero aún se encuentran en una fase teórica. Disminuir la entrada de radiación solar entrante en el planeta (lo que en principio bajaría la temperatura global), mediante cuerpos reflejantes o generación de nubes que jueguen ese papel, o enterrar los excedentes de CO₂, partiendo de que la tierra es inerte, y no un ecosistema, pueden desatar procesos para los que no conocemos aún las consecuencias.

De manera alternativa a las geoingenierías, la organización CLARA (Dooley y Stabinsky, 2018) plantea incrementar el papel del sector del uso de la tierra en acciones climáticas ambiciosas, que salvaguarden los derechos sobre la tierra, la biodiversidad y la soberanía alimentaria. La preservación de estos derechos, la restauración y los enfoques

¹⁸ Al respecto véanse:

http://www.geoengineeringmonitor.org/wp-content/uploads/2018/10/HOME_manifiesto-ES.pdf

<https://tinyurl.com/yakb6ghb>

agroecológicos, combinados con reducciones drásticas en las emisiones de gases de efecto invernadero de otros sectores, pueden cumplir con los objetivos del Acuerdo de París.

En síntesis, se trata de proponer alternativas ya existentes, probadas, y que antepongan las necesidades de las personas y del planeta mismo. Las respuestas se deben dar en un marco de equidad, siguiendo lo planteado en el Acuerdo de París, esto es, que preserven la justicia climática.

El informe describe los procesos de transformación de ahora hasta el 2040 para hacer que la tierra y los bosques sean un sumidero neto de carbono, en lugar de una fuente de emisiones antropogénicas, como ocurre por la exacerbada explotación actual. Este documento tiene tres secciones principales: la primera, “fortalecimiento de los derechos territoriales de pueblos indígenas y comunidades locales”; la segunda, “restauración de bosques y otros ecosistemas”; ambas demuestran cómo la mejora de los derechos y la integridad del ecosistema contribuyen a resolver el cambio climático. Mientras la tercera, “transformando la agricultura”, deja en claro las profundas modificaciones requeridas tanto en el modelo de agricultura industrial como en el comportamiento sobre la dieta y el consumo. El sector agropecuario es un gran contribuyente de gases de efecto invernadero, tiene un gran consumo del agua disponible, y es fuente de cambios de uso del suelo con gran pérdida de su fertilidad asociada. Sin embargo, también es uno de los sectores más vulnerables a los cambios climáticos globales, sobre todo en países cuya población depende en gran medida de cosechas cada vez más inciertas.

En cuanto al fortalecimiento de los derechos territoriales (Figura 4), el informe señala:

[...] las tierras indígenas representan aproximadamente el 40 % de todas las tierras naturales restantes en el planeta. [...] En muchas áreas, los pueblos indígenas y las comunidades locales están resistiendo el avance de la frontera agrícola y la minería. La “deforestación evitada” ya es reconocida en la literatura científica como uno de los enfoques de mitigación de menor costo [...] (SR1.5, 2018: 3).

Figura 4. Almacenamiento de carbono en bosques de pueblos indígenas y comunidades locales



Fuente: Dooley y Stabinsky, 2018.

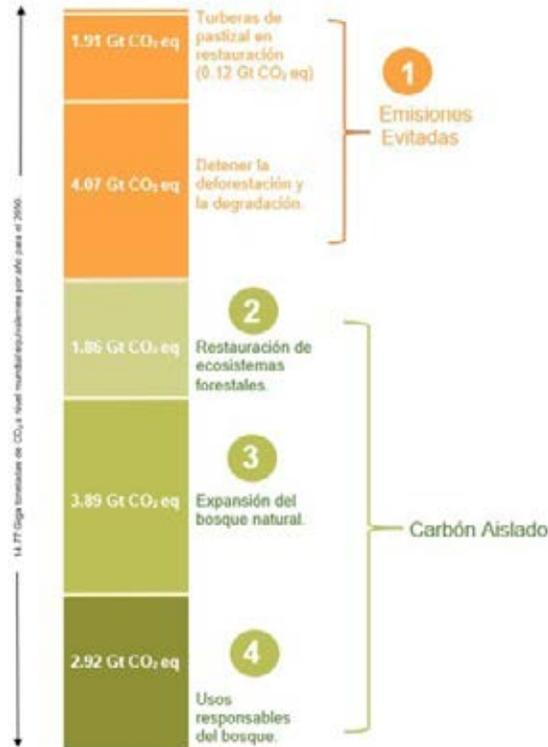
De manera sobresaliente, el informe señala que el uso responsable de los bosques, la expansión natural de estos y la restauración de los ecosistemas forestales (Figura 5), pueden contribuir hasta con la mitad del secuestro (sumidero) de gases de efecto invernadero (medido en CO₂ equivalente) que se plantean en el informe (8.67 de 14.77 Gt de CO₂ equivalente). Asimismo, se plantean emisiones evitadas, por la vía de detener la deforestación y la restauración de turberas (tipo de humedal) y pastizales. Esto evitaría cerca de 1.53 Gt de CO₂ al año, principalmente en Europa, Rusia e Indonesia.

Figura 5. Acciones de mitigación por emisiones evitadas y secuestro de carbono, asociado a los ecosistemas

Potencial de mitigación en todas las rutas basadas en el ecosistema.

Los ecosistemas terrestres son clave para la mitigación del clima.

- 1 Evitar la conversión de los ecosistemas en otros usos de la tierra, es la primera prioridad para evitar que las emisiones de CO₂ entren en la atmósfera.
- 2 La restauración del bosque natural degradado aumenta y protege más las reservas del carbono existentes.
- 3 La regeneración al permitir que los bosques vuelvan a crecer en áreas recientemente forestadas ofrece un gran potencial de reforestación.
- 4 El uso responsable de los bosques requiere reducir la cosecha y utilizar productos de madera de manera más eficiente.



Fuente: Dooley y Stabinsky, 2018.

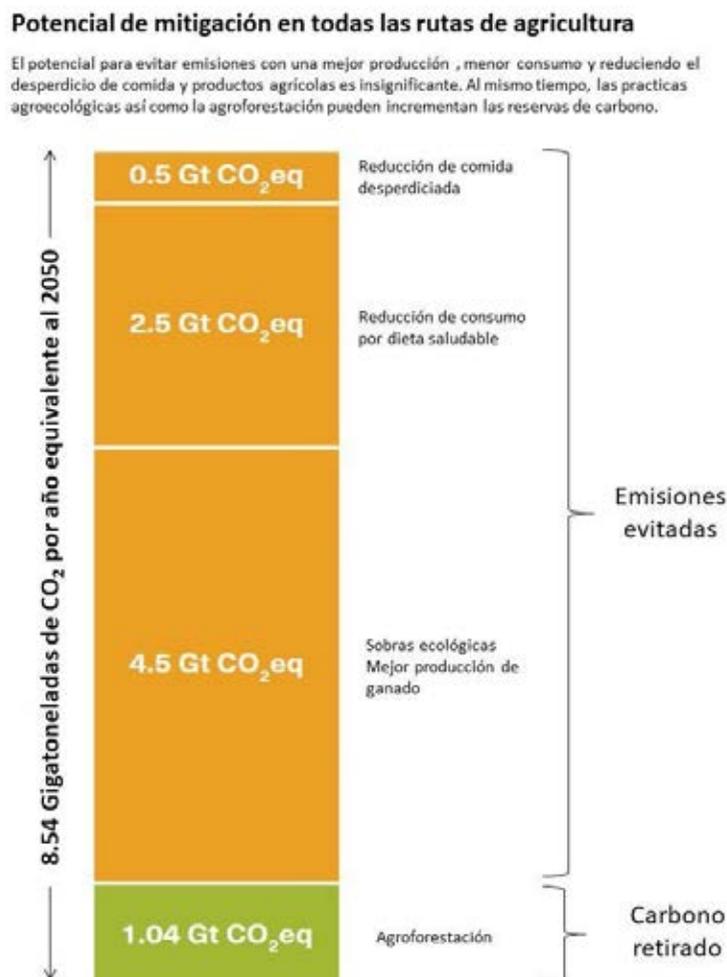
En cuanto a la sección “transformando la agricultura”, el informe supone un tránsito a la agroecología, ya que el sistema agropecuario es el que mayores emisiones aporta. Así, en este sector se pueden reducir las emisiones en el mismo proceso de la producción y en el uso de fertilizantes sintéticos. Existen bioregiones donde es posible la agroforestería, empleando especies perennes, así como posibilidades de cultivos de huerta y otros sistemas de uso mixto, que también pueden conducir a grandes aumentos de las reservas de carbono (Figura 6).

En cuanto a las emisiones evitadas en la ganadería, el informe adopta el enfoque “mucho menos, pero mucho mejor” carne y productos lácteos, con una producción integrada a nivel de paisaje y con una mayor diversidad agrobiológica de los sistemas de cultivo y ganadería. Además, se incluye en este rubro la reducción del desperdicio de alimentos, que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (mejor conocida como FAO) estima hasta en 40 % de lo cosechado (Ribeiro, 2018b), así como la disminución en los transportes de alimentos, aumentando la producción y el consumo local. En el reporte se plantean diferentes estrategias de mitigación (Figura 3) que pueden lograr las reducciones de emisiones netas que se requerirían para seguir una trayectoria que confine al calentamiento global a 1.5 °C.

En dicha Figura P1 es un escenario en el que las innovaciones sociales, comerciales y tecnológicas dan como resultado una menor demanda de energía hasta 2050, mientras que los niveles de vida aumentan, especialmente en el sur global. Un sistema de energía permite una rápida descarbonización del suministro de energía. La forestación es la única opción de CDR considerada; no se utilizan combustibles fósiles con CCS ni BECCS. P2: escenario con un amplio enfoque en la sostenibilidad, que incluye intensidad energética, desarrollo humano, convergencia económica y cooperación internacional, así como cambios hacia patrones de consumo saludables y sostenibles, innovación tecnológica con bajas emisiones de carbono y sistemas de tierras bien administrados con una aceptación social limitada para BECCS. P3: escenario intermedio en el que el desarrollo social, así como el tecnológico, siguen patrones históricos. Las reducciones de emisiones se logran principalmente al cambiar la forma en que se producen la energía y los productos, y en menor grado por las reducciones en la demanda. P4: escenario de uso intensivo de recursos y energía en el que el crecimiento económico y la globalización llevan a la adopción generalizada de estilos de vida intensivos en gases de efecto invernadero, incluida la alta demanda de combustibles para el transporte y productos pecuarios.

Las reducciones de emisiones se logran principalmente a través de medios tecnológicos, haciendo un fuerte uso de CDR a través del despliegue de BECCS. Todas las trayectorias descritas utilizan la eliminación de dióxido de carbono (CDR, por sus siglas en inglés), pero la cantidad varía según las trayectorias, al igual que las contribuciones relativas de Bioenergía con Captura y Almacenamiento de Carbono (BECCS, por sus siglas en inglés) y remociones en la Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés).

Figura 6. Reducción de emisiones por transformaciones en la agricultura



Fuente: Dooley y Stabinsky, 2018.

Agenda de medio ambiente 2018-2024

El 26 de junio, antes de las elecciones presidenciales de 2018, el equipo de Andrés Manuel López Obrador presentó ante diversos medios de comunicación la agenda ambiental de ese partido.¹⁹ En esta se describe la posición de esta camarilla con respecto al Acuerdo de París

¹⁹ <https://www.jornada.com.mx/2018/06/26/sociedad/032n2soc>

(UNFCCC, 2015) y sobresale el hecho de que se basa de forma primordial en un enfoque llamado biocéntrico, que le aporta una dimensión ética a las propuestas ambientales planteadas. Este enfoque se centra en la naturaleza, en el respeto a la vida, por lo que considera que la especie humana es una parte más de esta, y no por encima de ella. Hay ya diversos análisis sobre este enfoque (Conde, 2018), y con seguridad en los años siguientes se seguirán dando debates y análisis del mismo concepto, en particular del seguimiento de los compromisos establecidos en la misma.

Esta agenda cuenta con 10 ejes transversales: desarrollo integral sustentable, perspectiva de derechos humanos, perspectiva de género y principio intergeneracional, gobernanza democrática, participación ciudadana, gobierno basado en evidencia científica, transparencia, rendición de cuentas, eficiencia presupuestal, y transversalidad ambiental.

Además, plantea el tema “justicia ambiental”, que se puede considerar como nodal para sus ejes transversales y temáticos, pues precisamente este tema le da una dimensión ética y política, es decir, consistente con lo que se plantea como “justicia climática”. Este concepto abarca la inclusión en la toma de decisiones de todas las personas como parte de sus derechos humanos, considerando una perspectiva de género, el respeto a los pueblos originarios, la importancia de la participación de los jóvenes, y el combate a todas las desigualdades sociales.

De manera acertada, la agenda alude al artículo 4º de la Constitución de México: “toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque”.

La violencia ejercida sobre los defensores de este derecho, incluidos los derechos al agua, los suelos y los bosques, en particular a los territorios indígenas, es un aspecto que esta agenda resalta como urgente de atender, incluyendo, además de su protección, la atención de sus legítimas demandas.

También señala de forma acertada que en México se tiene como freno al ejercicio de la “justicia ambiental”, la falta de aplicación de la normatividad, la corrupción y la desatención de las autoridades responsables.

Justicia climática

Diversos autores y organizaciones sociales, incluso fundaciones como la de Mary Robinson, Justicia Climática,²⁰ están impulsando el desarrollo de la teoría y la práctica de la Justicia Climática. En cuanto al concepto, la justicia climática plantea:

[...] garantizar un trato justo y la ausencia de cualquier tipo de discriminación contra los impactos negativos del cambio climático. Si bien es cierto que tanto individual como colectivamente estamos desarrollando nuestra capacidad para responder al cambio climático, en forma de estrategias de adaptación y mitigación, las dimensiones de la justicia ambiental, la igualdad de trato en la formulación de políticas e incluso en la misma definición de “grupos vulnerables” son a menudo no rigurosamente establecidos (Saraswat y Kumar, 2015: 67).

Además, se buscan nuevas formas de gobernanza, que impliquen la participación de las comunidades y sociedad en general con las estructuras del estado.

Se trata entonces de realizar acciones, estrategias y cambios estructurales que permitan el estudio integral de los grandes problemas ambientales, considerando a las comunidades y sociedad civil como los grandes actores transformadores. Como escribe Vitón (2017), citando a Klein (2015):

La lucha por la justicia climática aquí, en Estados Unidos, y en todo el mundo, no es solamente una lucha contra la [mayor] crisis ecológica de todos los tiempos, sino que es la lucha por una nueva economía, un nuevo sistema energético, una nueva democracia, una nueva relación con el planeta y entre nosotros, una lucha por la tierra, el agua y la soberanía alimentaria, por los derechos indígenas, por los derechos humanos y por la dignidad de todas las personas.[...] Estamos todos unidos en esta batalla, que no es una batalla solamente por conseguir una reducción en las partes por millón de CO₂ en la atmósfera, sino también por transformar nuestras economías y reconstruir el mundo que queremos hoy.

Conclusiones-recomendaciones

El reporte especial del IPCC (SR1.5, 2018) fue producto de la interacción de especialistas de los tres grupos de trabajo, por lo que se incluyeron los aspectos físicos, los relacionados

²⁰ <https://www.mrfcj.org/>

con impactos, vulnerabilidad y adaptación de los diferentes sectores y regiones planetarias, contemplando los aspectos de biodiversidad, suelos, salud, seguridad alimentaria, entre otros, así como las posibles trayectorias económicas ante diversas acciones de mitigación. También analizó la reducción de la pobreza y la alineación de las acciones propuestas con los objetivos de desarrollo sostenible.

Ante el énfasis que en algunos aspectos se dieron en ese reporte a las geoingenierías, diversas organizaciones de la sociedad civil y científicos comprometidos emitieron una visión crítica (por ejemplo, Dooley y Stabinsky, 2018), que debe ser atendida y estudiada a profundidad. En particular, lo descrito en el informe impulsado por la organización Climate Land Ambition and Rights Alliance (CLARA) es consistente con lo planteado hasta ahora en la Agenda de Medio Ambiente 2018-2024. En cualquier caso, estos dos instrumentos apuntan a un estudio integral de los procesos de pérdida de biodiversidad, conservación y restauración de suelos, y reducción del proceso de cambio climático, que señalamos que han rebasado ya los límites planetarios.

Será fundamental dar seguimiento al cumplimiento presentado por la Agenda de Medio Ambiente 2018-2024, en el marco de las trayectorias de desarrollo planteadas por el IPCC, y por estudios como el realizado por la organización CLARA. En particular, se debe seguir con detenimiento la preservación de la biodiversidad y la fertilidad de los suelos, así como los compromisos adquiridos por el país en el combate al cambio climático, en el marco de la justicia climática.

Reflexión final

Sara Ladrón de Guevara

Rectora de la Universidad Veracruzana

Vista desde la distancia de la Luna, lo asombroso de la Tierra, lo que te deja boquiabierto, es que está viva. Las fotografías muestran la superficie seca y castigada de la Luna en primer plano, seca como un hueso viejo. Arriba, flotando libremente debajo de la membrana húmeda y reluciente de un brillante cielo azul, aparece la Tierra naciente, lo único exuberante que hay en esta parte del cosmos.

LEWIS THOMAS, *LAS VIDAS DE LA CÉLULA*

En su libro *Storms of my Grandchildren. The Truth about the Coming Climate Catastrophe and our Last Chance to Save Humanity*, el climatólogo de la NASA Jame Hansen (2009) nos dice:

El planeta Tierra, la creación, el mundo en el que la civilización se desarrolló, el mundo con las normas climáticas que conocemos, con su geografía costera estable, está en peligro, un peligro inminente. La urgencia de la situación solo se cristalizó a lo largo de los últimos años. Ahora tenemos pruebas evidentes de la crisis [...]. La sorprendente conclusión es que la continuación de la explotación de todos los combustibles fósiles de la Tierra no solo amenaza a millones de especies en el planeta, sino también la supervivencia de la humanidad misma. Y los plazos son más cortos de lo que pensamos.

Por su parte, en su libro *Comment les Riches Détruisent la Planète*, el periodista y escritor Hervé Kempf nos refiere los acontecimientos del desastre que se avecina: más allá de cierto umbral, que podría alcanzarse mucho más rápido de lo previsto, el sistema climático podría explotar de manera irreversible. Ya no se puede excluir un cambio súbito y brutal, que haría subir la temperatura varios grados, a un nivel insostenible. “El sistema mundial que rige actualmente a la sociedad humana –precisa Kempf– se opone de manera ciega a los cambios

que es indispensable esperar si se quiere conservar para la existencia humana su dignidad y su promesa”.

Michael Löwy, finalmente, resume en una imagen por demás inquietante y preocupante la situación que en la actualidad guarda lo que él mismo llama la Madre Tierra: “el diluvio del siglo XXI corre el riesgo de tomar la forma, como aquel de la mitología bíblica, de un ascenso inexorable de las aguas, que ahogará bajo las olas las ciudades costeras de la civilización humana”.

“¿Cuál es, entonces, la solución alternativa?”, se pregunta el propio Löwy (2011) en su libro *Ecosocialismo. La alternativa radical a la catástrofe ecológica capitalista*. Y a continuación pasa revista a toda una serie de corrientes y movimientos sociales que buscan hacer frente a esta situación.

Nos habla, por ejemplo, de la corriente del decrecimiento, es decir, de aquel pensamiento político, económico y social que aboga por una disminución regular controlada de la producción económica con miras a establecer una nueva relación de equilibrio entre el ser humano y la naturaleza, así como entre los propios seres humanos entre sí. Uno de sus principales representantes, Serge Latouche, señala que la consigna del decrecimiento tiene como meta insistir en abandonar el objetivo del crecimiento por el crecimiento mismo.

El sociólogo brasileño también nos habla de la corriente universalista, representada por la revista *Décroissance*, que defiende la extensión de la gratuidad, el predominio del valor de uso por encima del valor de cambio, la reducción del tiempo de trabajo y de las desigualdades sociales, la ampliación de lo “sin fines de lucro”, la reorganización de la producción de acuerdo con las necesidades sociales y la protección del medio ambiente.

El también autor de *Kafka, soñador insumiso* (Löwy, 2007) también se refiere a Stéphane Lavignotte, quien hace un balance del debate entre los “objetores del crecimiento” y los ecosocialistas. Así, para Lavignotte el desafío es combinar la lucha por el interés ecológico de la clase de la mayoría, esto es, de los no propietarios del capital, y la política de las minorías activas por un cambio cultural radical. En otras palabras, lograr una “composición política” que reuniría a todos aquellos que saben que un planeta y una humanidad habitables son contradictorios con el capitalismo y el productivismo, y que buscan el camino para salir de este sistema inhumano.

Löwy (2011), por último, también da cuenta de la corriente del ecosocialismo, de la que él es uno de sus principales exponentes. Esta corriente, en palabras de nuestro autor, “es una proposición radical que no solo apunta a una transformación de las relaciones de producción, a una mutación del aparato productivo y de los modelos de consumo dominantes,

sino también a crear un nuevo paradigma de civilización, en ruptura con los fundamentos de la civilización capitalista/industrial occidental moderna”.

Para el sociólogo brasileño, en pocas palabras, “solamente una acción colectiva y democrática permitiría, al mismo tiempo, responder a las necesidades sociales reales, reducir el tiempo de trabajo, suprimir las producciones inútiles y perjudiciales, [y] reemplazar las energías fósiles por la solar”.

Es en este contexto en el que bien podemos ubicar la jornada que hoy nos convoca y nos congrega. En lo personal, desearía y apostaría por que el documento que hoy presenta la Universidad Veracruzana forme parte de esa acción colectiva y democrática a que hace alusión Löwy, de esa acción que busca poner un freno al cambio climático, restañar las heridas que nuestra especie le ha infligido a la Tierra, y sentar las bases para una salida digna y viable a esa crisis de humanidad que vive la población entera de nuestro planeta.

Bibliografía

Alba Landa, J., Mendizábal Hernández, L., Márquez Ramírez, J., y Niembro Rocas, A. (2008). “Los bosques y el cambio climático”. *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana. Instituto Nacional de Ecología. Embajada Británica en México. México.

Alcamo, J., Henrichs T. (2002). “Critical Regions: A Model-Based Estimation of World Water Resources Sensitive to Global Changes”. *Aquatic Sciences*. 64: 352-362.

Alonso Spilsbury, M., Ramírez Necoechea, R., Taylor Preciado, J. D. J. (2012). “El cambio climático y su impacto en la producción de alimentos de origen animal”. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 13(11): 1-25.

Altieri, M. A. (1995). *Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press. Boulder, Colorado, USA.

Alvarado Lassman, A., Rustrián, E., García Alvarado, M. A., Rodríguez Jiménez, G.C., Houbroun, E., (2008), “Brewery Wastewater Treatment Using Anaerobic Inverse Fluidized Bed Reactors”. *Bioresource Technology*. 99 (8): 3009-30015.

Arévalo Gálvez, J., Travieso Bello, A. C. (2016). “Desastres por fenómenos hidrometeorológicos en los municipios de Veracruz durante el periodo 1999-2015”. *Academia Journals*. 8(3): 64-68.

Arreguín, F., Alcocer, V., Marengo, H., Cervantes, C., Albornoz, P., Salinas, M. G. (2016). “Los retos del agua”. *El agua en México, cauces y encauses*. Academia Mexicana de Ciencias. 51-78.

Auliciems, A., De Dear, R. (1986). "Airconditioning in Australia: Human Thermal Factors". *Architectural Science Review*. 29(3): 67-75.

Ávila Flores, B. (2015). *Un estudio sobre la percepción del riesgo de poblaciones vulnerables al cambio climático en la cuenca del Papaloapan*. Tesis de doctorado en Investigación Educativa. IIE-UV. México.

Azus Adeht, I. (2012). "The Role of Global Oscillations and Teleconnections within Atmosphere and Ocean in Regional Coastal Management". *Ocean & Coastal Management*. 69: 78-91.

Barradas, V. L. (1987). "Evidencia del efecto "isla térmica" en Jalapa, Veracruz, México". *Revista Geofísica*. 26: 125-135.

_____, Cervantes Pérez, J., Ramos Palacios, R., Puchet Anyul, C., Vázquez Rodríguez, P., Granados Ramírez, R. (2010). "Meso-scale Climate Change in the Central Mountain Region of Veracruz State, Mexico". *Tropical Montane Cloud Forests*. Bruijnzeel L., Scatena F., Hamilton L. (Eds.). Cambridge University Press. 549-556.

Barriopedro, D., Fischer, E., Luterbacher, J., Trigo, R., García. R. (2011). "The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe". *Science*. 332: 220-224.

Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J. P. (Eds.). (2008). *El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico VI del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Secretaría del IPCC. Ginebra, Suiza.

Bello, B. L., (2017a), *Las representaciones sociales sobre cambio climático de estudiantes de bachillerato tecnológico. El caso de dos escuelas del estado de Veracruz*. Tesis de doctorado en Investigación Educativa: IIE-UV. México.

_____, Alatorre, F. G., González Gaudiano, E. (2017b), "La educación ambiental en el Bachillerato Tecnológico. Un análisis crítico". *Crefal*. 39(1): 112-129.

Benítez Badillo, G., Hernández Huerta, A., Equihua Zamora, M. E., Medina Chena, A., Álvarez Palacios, J. L., Ibáñez Bernal, S., Delfín Alonso, C. (2008). “Biodiversidad y cambio climático”. *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología. Embajada Británica en México. México.

_____, Hernández Huerta, A., Equihua Zamora, M., Pulido Salas, M. T. P., Ibáñez Bernal, S., Miranda Martín, L. (2010). “Biodiversidad”. *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. T. I. Patrimonio Natural*. G. Benítez Badillo, C. Welsh Rodríguez (Coords.). Gobierno del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. Universidad Veracruzana. México. 171-202.

Bett, B., Kiunga, P., Gachohi, J., Sindato, C., Mbotha, D., Robinson, T., Lindahl, J., Grace, D. (2017). “Effects of Climate Change on the Occurrence and Distribution of Livestock Diseases”. *Preventive Veterinary Medicine*. 137: 119-129.

Blyth, E. M., Dolman, A. J., Noilhan, J. (1994). “The Effect of Forest on Mesoscale Rainfall: an Example from HAPEX-MOBILHY”. *Journal of Applied Meteorology*. 33(4): 445-454.

Boyd, R., Ibararán, M. E. (2011). “El costo del cambio climático en México, análisis de equilibrio general de la vulnerabilidad intersectorial”. *Gaceta de economía*, año16, número especial. Tomo I. Obtenido de www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/113389/2011_El_costo_del_cambio_climatico_pdf Consultado en septiembre de 2018.

Braun, O., Lohmann, M., Maksimovic, O., Meyer, M., Merkovic, A., Messerschmidt, E., Reidel, A., Turner, M. (1999). “Potential Impact of Climate Change Effects on Preferences for Tourism Destinations: a Psychological Pilot Study”. *Climate Research*. 11: 247-254.

Bryden, H. L., Longworth, H. R., Cunningham, S. A. (2005). “Slowing of the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 25 N”. *Nature*. 438(7068): 655-657.

Burkett, V. R., Wilcox, D. A., Stottlemeyer, R., Barrow, W., Fagre, D., Baron, J., Price, J., Nielsen, J., Allen, C. D., Peterson, D. L., Ruggerone, G., Doyle, T. (2005). “Nonlinear

Dynamics in Ecosystem Response to Climate Change: Case Studies and Policy Implications”. *Ecological Complexity*. 2: 357-394.

Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., England, M. H. (2014). “Increasing Frequency of Extreme El Niño Events Due to Greenhouse Warming”. *Nature Climate Change*. 4(2): 111-116.

Calva, J. L. (Coord.) (2012). *Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable, análisis estratégico para el desarrollo*. Vol. 14. Juan Pablos editor. México.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2018). Ley General de Protección Civil. Secretaría de Servicios Parlamentarios.

Carricart Ganivet, J. P. (1993). “Blanqueamiento parcial en Porites porites (Cnidaria: Scleractinia) en el Arrecife de Isla Verde, Veracruz, México”. *Revista de biología tropical*. 41(3): 495-498.

Carvajal, F. (2013). *Cambio climático y costos de producción*. Facultad de Economía. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de www.puce.edu.ec/documentos/opsa/INV-Cambio-Climatico.pdf Consultado 2 de octubre de 2018.

Castillo Campos, G., Avendaño, S., Medina Abreu, M. E. (2011). “Flora y vegetación”. *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. México. 163-179.

Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., De Grau, P., Prieto González, R., Bravo, M. E. (2013). *Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la quinta comunicación nacional*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/178873/CGACC_2013_Actualizacion-de-escenarios-de-cambio-climatico-para-mexico-como-parte-de-los-productos-de-la-5CN.pdf

CENAPRECE (Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades). (2018). Programas de Control y Prevención. Recuperado de <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/>

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Obtenido de repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656_es.pdf Consultado 25 de septiembre de 2018.

Cervantes, J., Barradas, V. L., Tejeda, A., Pereyra, D. (2001). “Clima urbano, bioclima humano, hidrología superficial y riesgos por hidrometeoros en Xalapa”, *Unidades Ambientales Urbanas*. Capitanachi, C. (Comp.). Instituto de Ecología, A.C., Universidad Veracruzana. México.

Charalampopoulos, I., Tsiros, I., Chronopoulou, A., Matzarakis, A. (2013). “Analysis of Thermal Bioclimate in Various Urban Configurations in Athens, Greece”. *Urban Ecosystems*. 16(2): 217-233.

Chen, Z., Grasby, S., Osadetz, K. (2004). “Relation between Climate Variability and Groundwater Levels in the Upper Carbonate Aquifer, Southern Manitoba, Canada”. *Journal of Hydrology*. 290(1-2): 43-62.

CIAT-CCAFS. (2015). *Climate and Livestock Disease: Assessing the Vulnerability of Agricultural Systems to Livestock Pests under Climate Change Scenarios. Submission to UNFCCC SBSTA 42 on Issues Related to Agriculture in Response to SBSTA Decision FCC/SBSTA/2014/L.14*. Obtenido de <http://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/52687/retrieve>

CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). (2015). *Paris Agreement*. Recuperado de https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf

COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios)-Gobierno del Estado de Veracruz. (2018). Convenio Específico en materia de transferencia de recursos federales con el carácter de subsidios COFEPRIS-Veracruz. 2018. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/393639/CONV-VER-2018.pdf>

Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. (1996). *Nuestra propia agenda sobre medio ambiente y desarrollo*. Fondo de Cultura Económica, México.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2011). *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.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2016). “Agua en el mundo”. *Estadísticas del agua en México, edición 2016*. SEMARNAT. México.

CONAPO (Consejo Nacional de Población). (2006). *Proyecciones de la población de México 2005-2050*. CONAPO. México.

_____. (2012). *Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2016-2050*. CONAPO. México.

_____. (2019). *Datos abiertos del índice de marginación: índice de marginación por entidad federativa 1990-2015*. Obtenido de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion

Conde, C. (2018). “La agenda de Medio Ambiente 2018-2024 de Morena”. *La Jornada*. Saberes y Ciencias. Suplemento Mensual. 79(VII).

Conde Álvarez, C., Palma Grayeb, B. (2005). “Escenarios de riesgo para el territorio veracruzano ante un posible cambio climático”. *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*. Recuperado de https://www.uv.mx/eventos/inundaciones2005/PDF/18_ESCENARIOS.pdf

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2012). *Informe de pobreza y evaluación en el estado de Veracruz 2012*. CONEVAL. México.

Corado de Paz, M. D. J. (2017). “Cambio climático y derechos humanos”. *Derecho y políticas públicas frente al cambio climático*. Tania García, Carlos Welsh (Coords.). Tirant lo Blanch. México.

Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., Grasso, M. (2017). “Twenty Years of Ecosystem Services: How Far Have We Come and How Far do We Still Need to Go?”. *Ecosystem Services*. 28: 1-16.

Coumou, D., Robinson, A., Rahmstorf, S. (2013). “Global Increase in Record-Breaking Monthly-Mean Temperatures”. *Climate Change*. 118: 771-782.

Curtis, P. *et al.* (2018). “Clasificación de los conductores de la pérdida forestal mundial”. *Science*. 361: 1108-1111.

Day, J. W., Christian, R., Boesch, D., Yáñez Arancibia, A., Morris, J. T., Twilley, R. R., Naylor, L., Schaffner L., Stevenson C. (2008). “Consequences of Climate Change on the Ecogeomorphology of Coastal Wetlands”. *Estuaries and Coasts*. 37: 477-491.

Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano. (1972). “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano”. Recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf>

De Buen, O. (2017). *Análisis de los consumos unitarios y estacionales por usuarios en tarifas residenciales entre 2012 y 2016 para identificar evolución de la demanda por aire acondicionado*. Cuadernos de la CONUEE No. 5. SENER-CONUEE. México.

De Groot, R., Brander, L., Van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., Ten Brink, P., Van Beukering, P. (2012). “Global Estimates of the Value of Ecosystems and their Services in Monetary Units”. *Ecosystem Services*. 1(1): 50-61.

De Schutter, O. (2010). *Report Submitted by the Special Rapporteur on the Right to Food*. UN General Assembly. Human Rights Council. Sixteenth Session. Geneva. Switzerland.

Del Real Olvera, J., Rustrían Portilla, E., Houbron, E. (2011). “Tratamiento de aguas residuales de quesería mediante un reactor discontinuo secuencial aerobio”. *XXXII encuentro nacional y 1er congreso internacional AMIDIQ*. 3 al 6 de mayo de 2011, Riviera Maya. Quintana Roo.

Díaz, R., Castro, L., Aranda, P. (2014). “Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: condiciones sociales asociados a esta causa de muerte”. *Frontera Norte*. 26(52): 155-177.

Dooley, K., Stabinsky, D. (2018). *Los caminos que faltan para llegar a 1.5 °C. Executive Summary*. CLARA (Climate Land Ambition and Rights Alliance). Recuperado de <https://www.cidse.org/publications/climate-justice/food-and-climate/report-missing-pathways-to-1-5-c-2.html>.

Dossa, E. L., Fernandes, E. C. M., Reid, W. S., Ezui, K. (2008). “Above-and Belowground Biomass, Nutrient and Carbon Stocks Contrasting an Open-Grown and a Shaded Coffee Plantation”. *Agroforestry Systems*. (72): 103-115.

Durand Folco, J. (2015). “Décroissance, Écosocialisme et Articulation Stratégique”. *La décroissance, pour la suite du monde*. 14: 94-105.

Du Plessis, C., Irurah D. K., Scholes R. J. (2003). “The Built Environment and Climate Change in South Africa”. *Building Research & Information*. 31(3-4): 240-256.

Ellis, E. A., Martínez Bello, M., Benítez Badillo, G., Welsh Rodríguez, C. (2010). “Vegetación y uso de suelo”. *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana-Universidad Veracruzana. México. 203-226.

Elsasser, H., Burki, R. (2002). “Climate Change as a Threat to Tourism in the Alps”. *Climate Research*. 20(3): 253-257.

Esperón Rodríguez, M., Bonifacio Bautista, M., Barradas, V. L. (2016). “Socio-economic Vulnerability to Climate Change in the Central Mountainous Region of Eastern Mexico”. *Ambio*. 45(2): 146-160.

Espinosa García, J. A., Uresti Gil, J., Vélez Izquierdo, A., Moctezuma López, G., Inurreta Aguirre, H. D., Góngora González, S. F. (2015). “Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano”. *Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas*. 6(5): 1051-1063.

Estrada, F., Wouter, W. J., Tol, R. (2017). "A Global Economic Assessment of City Policies to Reduce Climate Change Impacts". *Nature Climate Change*. 7(6):403-406.

Fagan, B. (2008). *The Great Warming. Climate Change and the Rise and Fall of Civilizations*. Bloomsbury Press. New York.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2006). *Livestock's Long Shadow*. FAO. Rome. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>

_____. (2009). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2009. La ganadería, a examen*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s00.htm>

Folke, C. (2006). "Resilience: the Emergence of a Perspective for Social Ecological Systems Analyses". *Global Environmental Change*. 16: 253-267.

Friedman, J. B. (Ed.). (2009). *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México*. (Vol. 2). Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Galindo, L. M. (2009). La economía del cambio climático en México. Recuperado de gsppi.berkeley.edu/programs/docs_EnergyForum/CEPP%20Berkeley%20August%2024-25_Galindo.pdf Consultado 21 de septiembre de 2018.

_____, Samaniego, J. L., Alatorre, J. E., Ferrer, J. (2014). *Reflexiones metodológicas del análisis del cambio climático: una visión desde América Latina*. CEPAL. Naciones Unidas. Santiago de Chile. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37608/1/S1500008_es.pdf Consultado 20 de febrero de 2019.

_____, Caballero, K. (s/f). "La economía del cambio climático en México: algunas reflexiones". *Gaceta de Economía*. 16. Número especial (Tomo I). UNAM. México. Obtenido de www.cofemersimir.gob.mc/expediente/14697/mir/37769/anexo/1086525 Consultado 12 de septiembre de 2018.

Gallardo del Ángel, J. C., Aguilar Rodríguez, S. H. (2011). "Aves: diversidad, distribución y conservación". *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, Vol. II. Diversidad de especies: conocimiento actual. CONABIO. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología, A. C. México. 559-577.

García Alaniz, N., Schmid, M., Equihua, M., Maeda, P., Equihua, J., Pérez Maqueo, O., Flores Martínez, J. J., Villela Gaytán, S. A., Serrano Galvez, E., Rodríguez Franco, R., Leyva Reyes, J. C. (2017). "Mexican National Biodiversity and Degradation Monitoring System". *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 26-27: 62-68.

Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., Villers, L. (2006). "Potential Impacts of Climate Change on Agriculture: A Case of Study of Coffee Production in Veracruz, Mexico". *Climatic Change*. 79(3): 259-288.

GEV (Gobierno del Estado de Veracruz). (2009). *Programa veracruzano ante el cambio climático*. Tejeda Martínez, A. Universidad Veracruzana. Instituto Nacional de Ecología. Embajada Británica México. Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM. Instituto de Ecología, A. C. México.

_____ (2010). Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los efectos del cambio climático. Recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Veracruz/wo77450.pdf>

_____ (2011). Plan Veracruzano de Desarrollo 2011-2016. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Veracruz/wo86957.pdf>

_____ (2013a). Ley Número 878. Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los efectos del cambio climático. *Gaceta Oficial Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*. 2 de julio de 2013. 6-13.

_____ (2013b). Ley Número 856 de Protección Civil y la Reducción del Riesgo de Desastres para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. *Gaceta Oficial Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*. 1 de agosto de 2013. 2-27.

_____ (2016a). Ley Número 878 Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático. 11/3/2010. Última reforma 02/07/2013. Obtenido de <http://juridico.segobver.gob.mx/marco1.php> Consultada 20 febrero 2019.

_____ (2016b). Plan Sectorial Estatal de Veracruz, 2006-2008. Gobierno del Estado de Veracruz. Veracruz. México.

_____ (2017). Programa Estatal de Protección Civil 2017-2018. *Gaceta Oficial Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*. 20 de junio de 2017: 2-83.

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. (2018). Ley General de Cambio Climático (LGCC). Última reforma 13-07-2018. *Diario Oficial de la Federación*. México. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf

Gobierno de la República (2018). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/411191/PNH_Reporte_Transversalidad_061118_s_a.pdf

Golubev, V. S., Lawrimore, J. H., Groisman, P., Speranskaya, N., Zhuravin, S., Menne, M., Peterson, T., Malone, R. (2001). “Evaporation Changes over the Contiguous United States and the Former USSR: a Reassessment”. *Geophysical Research Letters*. 28: 2665-2668.

Gómez Pompa, A., Kroemer, T., Castro Cortes, R. (2010). *Atlas de la Flora de Veracruz: Un patrimonio Natural en Peligro*. Secretaría de Educación de Veracruz. Gobierno del Estado de Veracruz. Obtenido de <http://reservaeleden.org/plantasloc/fichas/fichasalum.html>

González Gaudiano, E., Maldonado González, A. L. (2013). *Los jóvenes universitarios y el cambio climático: un estudio de representaciones sociales*. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

_____ (2017). “Amenazas y riesgos climáticos en poblaciones vulnerables. El papel de la educación en la resiliencia comunitaria”. *Teoría Educativa*. 29(1): 273-294.

González Christen, A. (2011). "Mamíferos: distribución, endemismo y estado de conservación". *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Vol. II. Diversidad de especies: conocimiento actual. CONABIO. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología, A. C. 579-592.

Granados Ramírez, R., Medina B., M. del P., Peña. M. V. (2014). "Change and Climate Change in the Slope of the Gulf of Mexico. Impacts on Coffee Production". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(3): 473-485.

Greenpeace. (2010). México ante el cambio climático, evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. Recuperado de www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf Consultado 4 de septiembre 2018.

Guzmán, S., Morales Mávil, J., Pineda, E. (2011). "Anfibios". *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Vol. II. Diversidad de especies: conocimiento actual. CONABIO. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología, A. C. 517-529.

Hansen, J. (2009). *The Truth About the Coming Climate Catastrophe and Our Last Chance to Save Humanity*. Bloomsbury. USA.

Harding, R. J. (1992). "The Modification of Climate by Forests". *Growth and Water Use of Forest Plantations*. Calder I. R., Hall R. L., Adlard P.G. (Eds.). John Wiley and Sons. Chichester. England. 332-346.

Hayhoe, K., Cayan D., Field, C. B., Frumhoff, P. C., Maurer, E. P. *et al.* (2004). "Emissions Pathways, Climate Change, and Impacts on California". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 101(12): 422-427.

Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.

Houbron, E. (2010) "Calidad del agua". *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz*. Vol. 1. Florescano E., Escamilla J. O. (Coords.). Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Universidad Veracruzana. México. 147-159.

_____, Sandoval Rojas, M. A., Hernández Muñoz, A. F. (2016), “Tratamiento de efluentes de la producción de etanol en un reactor de lecho fluidizado inverso anaerobio”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 32(3): 255-266.

INDC (Intended Nationally Determined Contribution). (2015). Obtenido de http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/mexico_indc.pdf

INE (Instituto Nacional de Ecología)-SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). (2000). *Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera de México. Propuesta. Retos para el desarrollo sustentable*. INE-SEMARNAP. México. Obtenido de https://www.ileanaespejel.com/uploads/1/1/3/3/11330338/estrategia_ambiental_para_la_gestin_integral_de_la_zona_cos.pdf

INEE (Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación). (2015). *Los docentes en México*. Recuperado de <http://publicaciones.inee.edu.mx/buscadorPub/P1/I/240/P1I240.pdf>

_____ (2017). *Directrices para mejorar la permanencia escolar en la educación media superior*. Recuperado de <http://www.inee.edu.mx/index.php/publicaciones-micrositio>

INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático), SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Grupo Communicare, S.C. México.

_____ (2014). *Estudio para la incorporación de nuevas variables en los escenarios de cambio climático para México utilizados en la Quinta Comunicación Nacional. Parte I. Análisis de Variables Atmosféricas (Históricas y Escenarios de Cambio Climático) 28 de noviembre 2014*. Recuperado de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/escenarios-de-cambio-climatico-80126>

_____ (2018a). *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático. 2013*. Recuperado de https://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf

_____ (2018b). *Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990-2015*. México. Obtenido de http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/226/833_2018_Mexico_Inventario_INEGYCEI_.pdf

INECOL (Instituto de Ecología, A. C.). (2018). “Cambio climático: La Agenda del INECOL frente a IPCC-2013 y COP-21 2015”. Recuperado de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/533-cambio-climatico-la-agenda-del-inecol-frente-a-ipcc-2013-y-cop-21-2015>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015). *Conteo de Población y Vivienda 2015. Encuesta intercensal*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/intercensal/2015/doc/eic_2015_presentacion.pdf

_____ (2016). *Estructura económica de Veracruz de Ignacio de la Llave en síntesis*. Obtenido de internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825086312.pdf Consultado 15 de octubre de 2018.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambios Climáticos). (1996a). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>

_____ (1996b). “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Workbook (V. 2). Obtenido de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.htm>

_____ (1996c). “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Reference Manual (V. 3). Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>

_____ (2007). *Cambio Climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Pachauri, R. K., Reisinger, A. (directores de la publicación). IPCC. Ginebra. Suiza.

_____ (2012). “Summary for Policymakers”. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Field C. B., Barros V., Stocker T. F., Qin D., Dokken D. J., Ebi K. L., Mastrandrea M. D., Mach K. J., Plattner G. K., Allen S.K., Tignor M.,

Midgley P. M. (Eds.). A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. UK. New York. NY. USA. 1-19.

_____ (2013). “Summary for Policymakers”. *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., Qin D., Plattner G. K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Eds.). IPCC. Ginebra, Suiza.

_____ (2014). “Cambio climático 2014: Informe de síntesis”. *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Pachauri R. K., Meyer L. A. (Eds.). IPCC. Ginebra, Suiza.

_____ (2018). *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. Summary for Policymakers*. Recuperado de http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf

Jáuregui, E. (1986). “Tropical Urban Climate of Mexico City”. *Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas*. T. Oke. WHO. Geneva. Switzerland.

Jiménez, B., Torregrosa, M., Aboites Aguilar, L. (2010). “Efectos del cambio climático en los recursos hídricos”. *El agua en México: Cauces y encauces*. Academia Mexicana de Ciencias. México. 529-562.

Juste, J. (1999). *Derecho internacional del medio ambiente*. McGraw Hill. Madrid. España.

Kempf, H. (2007). *Comment les Riches Détruisent la Planète*. Éditions du Seuil. París. Francia.

Klein, N. (2015). *Esto lo cambia todo. El capitalismo contra el clima*. Paidós. Barcelona. España.

Klein, R. J., Nicholls, J., Thomalla, F. (2003). “The Resilience of Coastal Mega Cities to Weather-Related Hazards”. *Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk*. Carlin A. (Ed.). World Bank. Washington D. C. 101-120.

Kovats, R., Hajat, S. (2008). Heat Stress and Public Health: a Critical Review. *Annu. Rev. Public Health*. 29: 41-55.

Kramer, R., Richter, D., Pattanayak, S., Sharma, N. (1997). “Ecological and Economic Analysis of Watershed Protection in Eastern Madagascar”. *Journal of Environmental Management*. 49: 277-295.

Lammoglia, F. (2017). “La política de cambio climático y su incidencia en la mitigación, ¿podrá México alcanzar sus compromisos?”. *Derecho y políticas públicas frente al cambio climático*. García T., Welsh C. (Coords.). Tirant lo Blanch. México.

Lampis, A. (2013). “Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates a cerca del concepto de vulnerabilidad y su medición”. *Cuadernos de geografía. Revista colombiana de geografía*. 22(2). Bogotá. Colombia. 17-33. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/37017>

Lavell, A. (2003). *La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Mansilla E., Smith D. (Coords.). CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central). PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Guatemala. Ginebra, Suiza.

Lean, J., Buntoon C. B., Nobre C. A., Rowntree P. R. (1996). “The Simulated Impact of Amazonian Deforestation on Climate Using Measured ABRACOS Vegetation Characteristics”. *Amazonian Deforestation and Climate*. Gash J. H. C, Nobre C. A., Roberts J. M., Victoria T. L. (Eds.). John Wiley and Sons. Chicester, England. 549-557.

Lee, J., Byun, H., Kim, D. (2016). “Development of Accumulated Heat Stress Index Based on Time-Weighted Function”. *Theoretical and Applied Climatology*. 124: 541-554.

Livneh, B., Bohn, T. J., Pierce, D. W., Muñoz Arriola, F., Nijssen, B., Vose, R. *et al.* (2015). “A Spatially Comprehensive, Hydrologic Model-Based Data Set for Mexico, the U. S., and Southern Canada, 1950-2013”. *Scientific Data*. 2,150042.

Lluch Cota, S. E., Tripp Valdéz, M., Lluch Cota, D. B., Lluch Belda, D., Verbesselt, J., Herrera Cervantes, H., Bautista Romero, J. J. (2013). “Recent Trends in Sea Surface Temperature off Mexico”. *Atmosfera*. 26(4): 537-546.

López Cerdán, U., Travieso Bello, A. C. (2016). “Impactos socioeconómicos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos en Veracruz (1999-2012)”. *Innovando el agro veracruzano 2016. Frente a los retos de la relación sociedad-naturaleza*. López Gallardo, F. (Ed.). Colegio de Postgraduados. Veracruz. México. 299-317.

Löwy, M. (2007). *Kafka: soñador insumiso*. Taurus. México.

_____ (2011). *Ecosocialismo. La alternativa radical a la catástrofe ecológica capitalista*. Biblioteca Nueva. Madrid. España.

Macías, J. M. (2012). “Estado y desastres. Deterioro, retos y tendencias en la reducción de desastres en México, 2011”. *Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable*. Casa Juan Pablos. México. 368-392.

Magaña, V., Conde, C., (2000). “Climate and Freshwater Resources in Northern Mexico: Sonora, a Case Study”. *Environmental Monitoring and Assessment*. KLUWER Academic Publishers. 61: 167-185.

Maldonado González, A. L., González Gaudiano, E., Cruz Sánchez, G. E. (2017). “Una aproximación a la representación del cambio climático en habitantes de dos cuencas del estado de Veracruz, México”. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*. 12(23): 140-165. Recuperado de: <http://www.pueblosyfronteras.unam.mx/index.php/index.php/pyf/article/view/291/35>

_____, Cruz Sánchez, G. E., Bello Benavides, L. O., González Gaudiano, E. J. (2019). “Shared Commitments towards Social Resilience in Populations Vulnerable to Extreme Weather Conditions”. *Southern African Journal of Environmental Education*. 35: 1-15.

Martínez Austria, P. F., Patiño Gómez, C. (2012). “Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México”. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 3(1): 5-20.

McCarthy, J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., White C. (Eds.). (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge University Press. Cambridge, UK. Obtenido de https://library.harvard.edu/collections/ipcc/docs/27_WGIITAR_FINAL.pdf

McMichael, A. J., Woodruff, R. E., Hales, S. (2006). "Climate Change and Human Health: Present and Future Risks". *The Lancet*. 367: 859-869.

Meadows, D., Randers, J., Behrens III, W. (1972). *Los límites del crecimiento*. Fondo de Cultura Económica. México.

Mendoza, V. M., Villanueva, A. (1997). "Vulnerability of Basins and Watersheds in Mexico to Global Climate Change. *Climate research*. 9: 139-145.

Metcalf & Eddy Inc. (2004). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. McGraw Hill, USA.

Miller, R., Golab, L., Rosenberg, C. (2017). "Modelling Weather Effects for Impact Analysis of Residential Time-of-Use Electricity Pricing". *Energy Policy*. 105: 534-546.

Miranda, F., Hernández X., E. (2016). "Los tipos de vegetación de México y su clasificación". *Botanical Sciences*. 0(28): 29-179.

Mohammed, A. S., Awan, A. D. (2012). "Global Climate Change and its Impact on Livestock Production". *Climate Change and Agriculture*. Bisht B. S., Singh V., Melkania U., Srivastava R. K., Nautiyal N. (Eds.). New Biotech Books. Delhi, India. 123-162.

Mondal, S., Reddy, I. (2018). "Impact of Climate Change on Livestock Production". *Biotechnology for Sustainable Agriculture*. Singh, R. L., Mondal, S. (Eds.). Woodhead Publishing. Cambridge, England. 235-256.

Monterroso Rivas, A., Conde Álvarez, A. C., Gómez Díaz, J. D., López García, J. (2007). "Vulnerabilidad y riesgo en agricultura por cambio climático en la Región Centro del estado de Veracruz, México". *Zonas Áridas*. 11(1): 47-60.

Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R., Powell, F. E., Geronimo, R. C., Bielecki, C. R., Counsell, C. W. W., Dietrich, B. S., Johnston, E. T., Louis, L. V., Lucas, M. P., McKenzie, M. M., Shea, A. G., Tseng, H., Giambelluca, T. W., Leon, L. R., Hawkins, E., Trauernicht, C. (2017). "Global Risk of Deadly Heat". *Nature Climate Change*. 7 (7): 501-506.

Morales Mávila, J., Guzmán, S., Canseco, L., Pérez Higareda, G., González, A., Vogt, R. (2011). "Reptiles: diversidad y conservación". *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado, Vol. II. Diversidad de especies: conocimiento actual*. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. 531-543.

Moreno, A. R., Urbina, J. (2008). *Impactos sociales del cambio climático en México*. INE-PNUD. México.

Moreno Alvarado, T. (2018). "Con inversión de Nestlé, Veracruz retomará papel de gran productor nacional de café". *La Jornada Veracruz*. 24 de diciembre de 2018. Obtenido de http://www.jornadaveracruz.com.mx/Post.aspx?id=181224_100307_006

Mundo M., Martínez, A. P. (1994). "El cambio climático y sus efectos potenciales en los recursos hídricos y la agricultura del Valle del Yaqui, Sonora". *Ingeniería Hidráulica en México*. 9(1): 13-33.

Naciones Unidas (1989). "Resolución 44/228 de la Asamblea General de las Naciones Unidas". Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter33.htm>

_____ (1992a). "Artículo 1. Definiciones". *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

_____ (1992b). "Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto (CMNUCC)". Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico-y-su-protocolo-de-kioto-cmnucc?idiom=es>

_____ (1997). *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado de: <http://www.cambioclimatico.org/sites/default/files/kpspan.pdf>

_____ (2009). *El cambio climático y sus posibles repercusiones para la seguridad. Informe del Secretario General*. Recuperado de <http://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/7257.pdf>

_____ (2012). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 27 de julio de 2012 66/288. El futuro que queremos*. Recuperado de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/66/288>

_____ (2015). *Aprobación del Acuerdo de París, Propuesta del Presidente, Proyecto de decisión-/CP.21*. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109r01s.pdf>

_____ (2017). *Convención Marco sobre el Cambio Climático. La salud humana y la adaptación: entender los efectos del clima en la salud y las oportunidades de acción*. Recuperado de <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G17/050/79/PDF/G1705079.pdf>

Narváez, L., Lavell, A., Pérez Ortega, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: Un enfoque basado en procesos*. Secretaría General de la Comunidad Andina. Perú.

Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (Eds.). (2013). *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. Nueva York.

Nicholls, C. I., Altieri, M. A., Vázquez, L. I. (2015). “Agroecología: principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas”. *Agroecología*. 10(1): 61-72.

OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). (2016). *Estudios de la OCDE sobre los Sistemas de Salud: México*. Recuperado de http://funsalud.org.mx/portal/wp-content/uploads/2016/01/ocde_rhsmx_sp.pdf

Ochoa Martínez, C. (2017). *Detección de los posibles cambios en los eventos extremos de precipitación en el estado de Veracruz y su posible relación con los desastres hidrometeorológicos*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

Oleson, K. W., Monaghan, A., Wilhelmi, O., Barlage, M., Brunsell, N., Feddema, J., Hu, L., Seinhoff, D. F. (2015). "Interactions between Urbanization, Heat Stress and Climate Change". *Climate Change*. 129: 525-541.

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2018). "Hospitales seguros, verdes e inteligentes". Recuperado de https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_content&view=article&id=1742:smart-hospitals-toolkit&Itemid=1248&lang=es

Orosa, J. A., Costa, A. M., Rodríguez, A., Roshan, G. (2014). "Effect of Climate Change on Outdoor Thermal Comfort in Humid Climates". *Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 12(46).

Ortiz Ceballos, G. (2004). *El agroecosistema café: crisis de mercado y sustentabilidad*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz. Veracruz, México.

Oswald, U. (2011). "Reconceptualizar la seguridad ante los riesgos del Cambio Climático y la Vulnerabilidad Social". *Las Dimensiones Sociales del Cambio Climático: Un panorama desde México. ¿Cambio Social o Crisis Ambiental?* Lucatello S., Rodríguez Velázquez, D. (Coords.). Instituto Mora-UNAM. México. 23-47.

Palma, B. E., Morales, R. E., Martínez, B., Cuéllar, L. (2012). "Escenarios climáticos al 2030 y 2050 para el estado de Veracruz". *Las inundaciones de 2010 en Veracruz. La Biosfera, escenarios y herramientas*. Tejeda Martínez, A. (Coord.). Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. México. 181-205.

Parada, M. G. (2013). *Evaluación preliminar de la isla de calor en Poza Rica, Ver.* Trabajo recepcional de Especialidad en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ingeniería Química, Campus Poza Rica. Universidad Veracruzana. Veracruz, México.

Parkinson, A. J., Butler, J. C. (2005). "Potential Impacts of Climate Change on Infectious Diseases in the Arctic". *International Journal of Circumpolar Health*. 64: 478-486.

Pattanayak, S., Kramer, R. (2000). "Worth of Watersheds: a Producer Surplus Approach for Valuing Drought Control in Eastern Indonesia". *Environment and Development Economics*. 6: 123-146.

Patz, J. A., Campbell Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J. A. (2005). "Impact of Regional Climate Change on Human Health". *Nature*. 438: 310-317.

Pereira, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P., Fernandez Manjarrés, J. F., Walpole, M. (2010). "Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century". *Science*. 330(6010): 1496-1501.

Pereyra Díaz, D., Pérez Sesma, J. A. A., Hoyos Reyes, C., Sánchez Orea, J., González Martínez, F. J. (2008a). *Instalación de red hidropluviométrica en la cuenca del río La Antigua y transmisión de datos en tiempo real con fines de alerta temprana, Informe final*. Universidad Veracruzana-COVECyT. Xalapa, Veracruz. México.

_____, Contreras Hernández, A. D. (2008b). "Escenarios futuros de los recursos hídricos". *Estudio para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Tejeda Martínez A., Guadarrama Olivares M. E., Welsh Rodríguez C. M. (Eds.). Embajada Británica de México, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Veracruzana (versión preliminar) (CD-ROM).

_____, Cruz Torres, D., Agustín Pérez Sesma, J. A. (2011). "The Real Evapotranspiration (ETR) in the La Antigua River Basin, Veracruz: Current State and Facing Scenarios of Climate Change". *Investigaciones geográficas*. 75: 37-50.

Pérez Maqueo, O., Martínez, M. L., Sánchez Barradas, F. C., Kolb, M. (2018). "Assessing Nature-Based Coastal Protection against Disasters Derived from Extreme Hydrometeorological Events in Mexico". *Sustainability*. 10(5).

Pineda López, M. R., Sánchez Velázquez, L. R., Noa Carrazana, J. C., Flores Estévez, N., Díaz Fleischer, F., Iglesias Andreu, L., Ortiz Ceballos, G., Vázquez Domínguez, G., Vásquez

Morales, S. G. (2008). “Adaptación de la biodiversidad y cambio climático”. *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología. Embajada Británica en México. México.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2016). *Informe sobre Desarrollo Humano. México 2016. Desigualdad y Movilidad*. PNUD. México. Recuperado de: <http://www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobreza/InformesDesarrolloHumano/idhmovilidadsocial2016/PNUD%20IDH2016.pdf>

Quintero Ángel, M., Carvajal Escobar, Y., Aldunce, P. (2012). “Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo”. *Revista Luna Azul*. Universidad de Caldas. 257-271.

Ragab, R., Prudhomme, C. (2002). “Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-Arid Regions: Prospective and Challenges for the 21st Century”. *Biosystems Engineering*. 81: 3-34.

Raynal Villaseñor, J. A., Rodríguez Pineda, J. A. (2007), “Possible Scenarios of Impacts of Climate Change on Potential Evapotranspiration in the Watershed of the Conchos River, Mexico”. *AGU Fall Meeting Abstract*.

Reinosa Valladares, M., Canciano Fernández, J., Hernández Garcés, A., Ordoñez Sánchez, Y. C., Figueroa Beltrán, I. (2018). “Huella de carbono en la industria azucarera: caso de estudio”. *Revista de tecnología química*. 38(2): 437-445.

Ribeiro, S. (2018a). “Caos climático, capitalismo y geoingeniería”. *La Jornada*. 13 de octubre de 2018. Recuperado de <http://www.jornada.com.mx/2018/10/13/opinion/023a1eco>.

_____ (2018b). “Alternativas reales frente al cambio climático”. *La Jornada*. 27 de octubre de 2018. Recuperado de <https://www.jornada.unam.mx/2018/10/27/opinion/023a1eco>

Rivera, C. O., Tejeda, A., Díaz, M. (s. f.). “Análisis preliminar de la isla urbana de calor. Coatzacoalcos, Veracruz (México)”. [Diapositivas de PowerPoint].

Rivera Arriaga, E. (2017). “La vulnerabilidad costera: elementos para la construcción de su resiliencia”. *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático*. Botello A.V., Villanueva S., Gutiérrez J., Rojas Galaviz, J. L. (Eds.). UJAT, UNAM, UAC. México. 1-27.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F. S., Lambin, E., Foley, T. J. (2009). “Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity”. *Ecology and Society*. 14(2): 32. Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Rodríguez, A. (2002). *Lecciones de Derecho Internacional Público*. Tecnos. Madrid. España.

Romo González, T., Núñez, C., Pérez, C., Bravo Reyes, L., Medina, I., Escalante, D., Ruiz, E., Vargas Madrazo, E. (2009). “La crisis planetaria del agua, biocampos y la esencia sagrada de la vida: una perspectiva transdisciplinaria”. *Aspectos biológicos y ecológicos asociados al agua*. Silva López G. (Comp.). Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 97-109.

Root, T. L., Schneider, S. H. (2002). “Climate Change: Overview and Implications for Wildlife”. *Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies*. Schneider S. H., Root T. L. (Eds.). Island Press, Washington D. C. 1-56.

Rosenzweig, C., Tubiello, F. N., Goldberg, R., Mills, E., Bloomfield, J. (2002). “Increased Crop Damage in the US from Excess Precipitation under Climate Change”. *Global Environmental Change*. 12: 197-202.

_____ Hillel, D. (2018). “Climate Change Challenges to Agriculture, Food Security, and Health”. *Our Warming Planet: Topics in Climate Dynamics*. Rosenzweig C., Rind D., Lacic A., Manley D. (Eds.). World Scientific Publishing Co. USA-UK. 373-395.

Roshan, G., Farrokhzad, M., Attia, S. (2017). “Defining Thermal Comfort Boundaries for Heating and Cooling Demand Estimation in Iran’s Urban Settlements”. *Building and Environment*. 121: 168-189.

Routledge, P., Cumbersb, A., Dericksonc, K. D. (2018). “States of Just Transition: Realising Climate Justice through and Against the State”. *Geoforum*. 88: 78-86. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.11.015>

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa. México.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación). (2017). *Planeación agrícola nacional 2017-2030. Palma de aceite mexicana*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257081/Potencial-Palma_de_Aceite.pdf

Sainz, J., Becerra, M. (2003). “Los conflictos por el agua en México”. *Gaceta Ecológica*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 67: 61-68.

Saraswat, Ch., Kumar, P. (2015). “Climate Justice in Lieu of Climate Change: a Sustainable Approach to Respond to the Climate Change Injustice and an Awakening of the Environmental Movement”. *Energy Ecology Environment*. 1: 64-74.

Schleussner, C. F., Lissner, T. K., Fischer, E. M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Schaeffer, M. (2016). “Differential Climate Impacts for Policy-Relevant Limits to Global Warming: the Case of 1.5 °C and 2 °C. *Earth System Dynamics*. 7: 327-351. Recuperado de www.earth-syst-dynam.net/7/327/2016/

Schneeberger, C., Blatter, H., Abe Ouchi, A., Wild, M. (2003). “Modelling Changes in the Mass Balance of Glaciers of the Northern Hemisphere for a Transient 2×CO₂ Scenario”. *Journal of Hydrology*. 282: 145-163.

SEDEMA (Secretaría de Medio Ambiente). (2019). Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Estatal de Veracruz. Obtenido de <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/ordenamiento-ecologico-del-territorio-estatal/>

SEFIPLAN (Secretaría de Finanzas y Planeación). (2018). Presupuestos de Egresos 2018. Recuperado de <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/transparencia/transparencia-proactiva/programacion-y-presupuesto/presupuesto-de-egresos-2018/>

SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público). (2010). Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN). Segunda Sección. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/23751/Reglas_Generales_del_Fondo_de_Desastres_Naturales_FONDEN__3_de_diciembre_de_2010.pdf

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (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*. Jueves 30 diciembre 2010.

SEP (Secretaría de Educación Pública). (2017a). *Aprendizajes clave para la educación integral. Plan y programas de estudio para la educación básica*. Secretaría de Educación Pública. México.

_____. (2017b). *Planes de estudio de referencia del marco curricular común de la Educación Media Superior*. Secretaría de Educación Pública. México, México.

SESVER (Servicios de Salud de Veracruz), Dirección de Protección Contra Riesgos Sanitarios. (2017). *Diagnóstico y evaluación de la vulnerabilidad en salud ante el cambio climático en el estado de Veracruz, 2017*. Recuperado de <https://www.ssaver.gob.mx/riesgos-sanitarios/files/2018/03/DEVSCC-CAM-CLIM-SESVER-SAL-AMB-ABR-18-1-ilovepdf-compressed.pdf>

_____. (2018). Programa 6 pasos de la salud con prevención. Recuperado de <https://www.ssaver.gob.mx/riesgos-sanitarios/2015/09/23/programas-institucionales/>

Sherbinin, A., Schiller, A., Pulsipher, A. (2007). “The Vulnerability of Global Cities to Climate Hazards”. *Environment Urbanization*. 12(2): 93-102.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). *Atlas Agroalimentario 2012-2018*. Obtenido de https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018

Silva, L. (2018). Agencia de Noticias RTV. “Veracruz reporta 61 municipios con alto grado de vulnerabilidad ante cambio climático”. Recuperado de <http://www.masnoticias.mx/veracruz-reporta-61-municipios-con-alto-grado-de-vulnerabilidad-ante-cambio-climatico/>

Sinervo, B., Méndez de la Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Cruz, M. V. S., Sites, J. W. (2010). “Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches”. *Science*. 328(5980): 894-899.

Singh, V., Rastogi, A., Nautiyal, N., Negi, V. (2017). "Livestock and Climate Change: the Key Actors and the Sufferers of Global Warming". *Indian Journal of Animal Sciences*. 87(1): 11-20.

Sirohi, S., Michaelowa, A. (2007). "Sufferer and Cause: Indian Livestock and Climate Change". *Climatic Change*. 100:120-134.

Sóñora Luna, F., Anguita, V. (2012). "Capítulo 2. El agua en movimiento". *Libro didáctico 3: Agua y cambio climático*. Sóñora Luna F. (Coord.). Xunta de Galicia. España. 29-71.

Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Schellnhuber, H. J. (2018). "Trajectories of the Earth System in the Anthropocene". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 115(33): 8252-8259. Recuperado de <http://www.pnas.org/content/pnas/115/33/8252.full.pdf>.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Caster, V., Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. FAO. Rome.

Stern, T. (2015). *The Paris Agreement and the Future of International Climate Policy*. Center for American Progress. Washington D. C., EUA.

Stewart, R., Betancourt, D., Davies, J. B., Harford, D., Klein, Y., Lannigan, R., Mortsch, L., O'Connell, E., Tang, K., Whitfield, P. H. (2017). "A Multi-Perspective Examination of Heat Waves Affecting Metro Vancouver: Now into the Future". *Natural Hazards*. 87: 791-815.

Stone, B., Hess, J., Frumkin, H. (2010). "Urban Form and Extreme Heat Events: Are Sprawling Cities More Vulnerable to Climate Change than Compact Cities?" *Environ Health Perspect*. 118(10): 1425-1428.

Strange, T., Bayley, A. (2012). *Desarrollo sostenible: Integrar la economía, la sociedad y el medio ambiente*. Esenciales OCDE. OECD Publishing-Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1787/9789264175617-es>

Tejeda Martínez, A., Acevedo, F. (1988). "Alteraciones climáticas para la urbanización en Xalapa. Ver." *La Ciencia y el Hombre*. 6: 37-48.

_____ (1991). “An Exponential Model of the Curve of Mean Monthly Hourly Air Temperature”. *Atmósfera*. 4(3): 139-144.

_____, Rivas, D. (2001). “Un escenario de bioclima humano en ciudades del sur de México, bajo condiciones de 2xCO₂ atmosférico”. *El tiempo del clima*. Baeza E., Tamayo Carmona, J. (Eds.). Asociación Española de Climatología. España. 551-562.

_____, Jáuregui, E. (2004). “Cuatro décadas de climatología urbana en México”. *Estudios de arquitectura bioclimática*. UAM-Azcapotzalco-Limusa. México. 164-177.

_____, Rodríguez, L. (2007). “Estado de la investigación de los aspectos físicos del cambio climático”. *Investigaciones Geográficas*. 62: 31-43.

_____, Guadarrama Olivera, M., Ochoa Martínez, C. A., Medina Chena, A., Equihua Zamora, M. E., Cejudo Báez, A., Welsh Rodríguez, C. M., Salazar Lizán, S., García López, T., Marín Hernández, M. (Comps.). (2008). *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología, Embajada Británica en México. México.

_____ (Coord.). (2009). *Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana. Instituto Nacional de Ecología. Embajada Británica México. Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM. Instituto de Ecología A. C. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164947/2009_vz_pacc.pdf

_____, Benítez Badillo, G., Equihua Zamora, M. E., González Gaudiano, E., Guadarrama Olivera, M. E., Gutiérrez Bonilla, L. A., Hernández Huerta, A., Leal Ascencio, M. T., López Flores, E., Marín Martínez, M., Medina Chena, A., Méndez Pérez, I. R., Miranda Alonso, S., Pereyra Díaz, D., Salazar Lizán, S., Welsh Rodríguez, C. M. (2010). *Cambio climático y cambio de gobierno. Compromisos mínimos para el futuro de Veracruz*. Tejeda Martínez, A. (Coord.). Programa de Estudios de Cambio Climático. Universidad Veracruzana. México.

_____, Luyando, E. y Jáuregui, E. (2011). “Average Conditions of Thermal Stress in Mexican Cities with More than One Million Inhabitants in the Face of Climatic Change”. *Atmósfera*. 24: 15-30.

Thiessen Martens, J. R., Entz, M. H., Wonneck, M. D. (2015). “Review: Redesigning Canadian Prairie Cropping Systems for Profitability, Sustainability, and Resilience”. *Canadian Journal Plant Science*. 95: 1049-1072.

Thomas, L. (1974). *The Lives of a Cell: Notes of a Biology Watcher*. The Viking Press. New York.

Travieso Bello, A. C., López Cerdán, U. (2017). “Costo de los desastres hidrometeorológicos en la región sur-sureste de México: bases para la gestión integral de riesgos”. *Retos y perspectivas de las ciencias ambientales*. Sánchez Gil P., García Ayala, E. de J. (Coords.). Universidad de Xalapa. Xalapa, Veracruz, México. 12-24.

_____, Welsh Rodríguez, C. M., Ochoa Martínez, C. A. (2018). “Desastre y vulnerabilidad: el caso de dos localidades veracruzanas afectadas por el huracán Karl y la tormenta tropical Matthew”. *Riesgo de desastres en México: eventos hidrometeorológicos y climáticos*. Rodríguez Estévez J. M., Welsh Rodríguez C. M., Romo Aguilar Ma. L., Travieso Bello A. C. (Coords.). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-RedesClim. Juitepec, Morelos, México. 289-307.

UNEP/GRID-Arendal. (2002). Vital Climate Graphics. United Nations Environment Programme. Obtenido de <http://www.grida.no/climate/vital/index.htm>

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2015). *Acuerdo de París*. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

_____. (2017). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 22º período de sesiones, celebrado en Marrakech del 7 al 18 de noviembre de 2016*. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/spa/10a02s.pdf>

UN-HABITAT (United Nations Human Settlements Programme). (2016). *World Cities Report 2016: Urbanization and Development: Emerging Futures. Key Findings and Messages*. United Nations Human Settlements Programme. Nairobi. Kenia.

Uyarra, M., Cote, I., Gill, J., Tinch, R., Viner, D., Watkinson, A. L. (2005). “Island-Specific Preferences of Tourists for Environmental Features: Implications of Climate Change for Tourism-Dependent States”. *Environmental Conservation*. 32(1): 11-19.

Valle Levinson, A., Dutton, A., Martin, J. B. (2017). “Spatial and Temporal Variability of Sea Level Rise Hotspots over the Eastern United States”. *Geophysical Research Letters*. 44(15): 7876-7882.

Vázquez, L. L., Matienzo, Y., Alfonso, J., Veití a, M., Paredes, E., Fernández, E. (2012). “Contribución al diseño agroecológico de sistemas de producción urbanos y suburbanos para favorecer procesos ecológicos”. *Agricultura orgánica*. 18 (3): 14-18.

Vázquez Aguirre, J., Brunet, M., Jones, P. (2008). “Cambios observados en los extremos de temperatura y precipitación en el estado de Veracruz, México a partir de datos diarios”. *Cambio climático regional y sus impactos*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Tarragona, España.

Vitón García, G. (2017). “Cambio climático, desarrollo sostenible y capitalismo”. *Relaciones Internacionales*. 34: 95-104.

Welsh Rodríguez, C. M., Hernández y Hernández, D. E., Ochoa Martínez, C. A., Guzmán Rojas, S., Avilés Sayas, J. (2012). “El Inventario de gases de efecto invernadero (GEI) 2000-2008 del Estado de Veracruz”. *Estado actual del conocimiento del ciclo de carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2011*. Paz F., Cuevas R. M. (Eds.). Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Nacional de Ecología. México. 700-707.

Whitfield, S. M., Bell, K. E., Philippi, T., Sasa, M., Bolaños, F., Chaves, G., Savage, J. M., Donnelly, M. A. (2007). “Amphibian and Reptile Declines over 35 Years at La Selva, Costa Rica”. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 104(20): 8352-8356.

WHO (World Health Organization). (2005). *Water Safety Plans: Managing Drinking-Water Quality from Catchment to Consumer*. WHO. Geneva, Switzerland.

WMO (World Meteorological Organization). (2013). *The Global Climate 2001-2010: A Decade of Climate Extremes*. WMO. Geneva, Switzerland.

Woodworth, P. L., Blackman, D. L. (2004). “Evidence for Systematic Changes in Extreme High Waters since the Mid-1970s”. *Journal of Climate*. 17: 1190-1197.

Yáñez Arancibia, A., Day, J. W., Twilley, R. R., Day, R. H. (2009). “Los manglares frente al cambio climático: ¿Tropicalización global del Golfo de México?”. *Impactos del cambio climático sobre la zona costera*. Yáñez Arancibia A. (Ed.). Texas Sea Grant Program. INECOL, INE, SEMARNAT. México. 91-126.

_____ (Ed.) (2010). *Impactos del cambio climático sobre la zona costera*. Instituto de Ecología A. C., INECOL, Texas Sea Grant Program. INECOL, INE, SEMARNAT. México.

Yildiz, B., Bilbao, J. I., Sproul, A. B. (2017). “A Review and Analysis of Regression and Machine Learning Models on Commercial Building Electricity Load Forecasting”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 73: 1104-1122.

Zapata, R. (2011). “Cambio climático y desastres”. *Las dimensiones sociales del cambio climático: un panorama desde México ¿Cambio social o crisis ambiental?* Lucatello S., Rodríguez Velázquez D. (Coords.). Instituto Mora/UNAM. México. 93-111.

Zavala Hidalgo, J., De Buen Kalman, R., Romero Centeno, R., Hernández Maguey, F. (2011). “Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas”. *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. (2a ed.). Botello A. V., Villanueva Fragosó S., Gutiérrez J., Rojas Galaviz J. L. (Eds.). UAM-Iztapalapa. UNAM-ICMYL. Universidad Autónoma de Campeche. México. 315-334

_____, Ochoa de la Torre, J. L. (2015). “Cambios en el nivel del mar”. *Reporte mexicano de cambio climático, Grupo I. Bases científicas. Modelos y modelación*. Gay y García C., Cos Gutiérrez A., Peña Ledón C. T. (Eds.). Programa de Investigación en Cambio Climático-UNAM. México. 57-77.



VERACRUZ
GOBIERNO
DEL ESTADO

Veracruz, una década ante el Cambio Climático coordinado por Adalberto Tejeda Martínez, Beatriz del Valle Cárdenas, Carlos M. Welsh Rodríguez, Carolina A. Ochoa Martínez e Irving R. Méndez Pérez se publicó en febrero de 2020 por la Editora de Gobierno del Estado de Veracruz, siendo Gobernador del Estado Cuitláhuac García Jiménez y Director General de la Editora de Gobierno, Israel Hernández Roldán. Coordinación y edición: Víctor Manuel Marín González. Cuidado de la edición: María Elena Contreras Costeño. Formación: Dalila Islas Ladrón de Guevara. Portada: Gladys Patricia Morales Martínez.

