

# IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

## UNA VISIÓN DESDE MÉXICO

**Coordinadores**

Sazcha Marcelo Olivera Villarroel

Gustavo Sosa Núñez





# Impactos del cambio climático: una visión desde México

Sazcha Marcelo Olivera Villarroel  
Gustavo Sosa Núñez  
(coordinadores)



División de Ciencias  
de la Comunicación  
y Diseño



Dr. José Antonio De los Reyes Heredia  
*Rector General*

Dra. Norma Rondero López  
*Secretaria General*

**UNIDAD CUAJIMALPA**

Mtro. Octavio Mercado González  
*Rector*

Dr. Gerardo Francisco Kloss Fernández del Castillo  
*Secretario*

Dra. Gloria Angélica Martínez de la Peña  
*Directora de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño*

Mtra. Silvia Gabriela García Martínez  
*Secretaria Académica de la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño*

*Miembros del Consejo Editorial DCCD (vigentes)*

Dra. Deyanira Bedolla Pereda  
Dr. Raúl Roydeen García Aguilar  
Dr. Tiburcio Moreno Olivos  
Dra. María Alejandra Osorio Olave  
Mtro. Luis Antonio Rivera Díaz

*Miembros del Comité Editorial DCCD*

Dr. César Augusto Rodríguez Cano  
Dr. Rodrigo Martínez Martínez  
Dra. Esperanza García López  
Dr. Mario Alberto Morales Domínguez  
Dr. Joaquín Sergio Zepeda Hernández  
Dra. Inés María Cornejo Portugal



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DR. JOSÉ MARÍA LUIS MORA

Dra. Gabriela Sánchez Gutiérrez  
*Directora General*

Mtro. Alejandro López Mercado  
*Secretario General*

Dr. Gustavo Sadot Sosa Núñez  
*Director de Investigación*

Dra. María José Garrido Asperó  
*Directora de Docencia*

Mtro. Domingo López Hernández  
*Director de Administración y Finanzas*

# Impactos del cambio climático: una visión desde México

Sazcha Marcelo Olivera Villarroel  
Gustavo Sosa Núñez  
(coordinadores)



División de Ciencias  
de la Comunicación  
y Diseño



Clasificación Dewey: 363.73874 I34 2022  
Clasificación LC: QC903 I47 2022  
DOI: <https://doi.org/10.24275/9786072824638>

Olivera Villaroel, Sazcha Marcelo / Sosa Núñez, Gustavo

Impactos del cambio climático : una visión desde México / Sazcha Marcelo Olivera Villaroel, Gustavo Sosa Núñez, (coordinadores) . -- Ciudad de México : UAM, Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño : CONACyT : Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, 2022.

422 p. : il. col. – cm.  
ISBN: 978-607-28-2463-8 UAM  
ISBN: 978-607-8793-53-2 Instituto Mora

1. Cambios climáticos -- Aspectos sociales -- México -- Siglo XXI. 2. Cambios climáticos -- Aspectos económicos -- México -- Siglo XXI. 3. Evaluación del impacto ambiental -- México -- Siglo XXI. 4. Protección del medio ambiente -- México -- Siglo XXI. 5. Conservación de los recursos naturales -- México -- Siglo XXI.  
I. Olivera Villaroel, Sazcha Marcelo, coord. II. Sosa Núñez, Gustavo, coord.

---

---

Impactos del cambio climático: una visión desde México. Sazcha Marcelo Olivera Villaroel. Gustavo Sosa Núñez | Primera edición, 2022.

*Diseño editorial:* Lic. Iván Hernández Martínez  
*Cuidado de la edición:* Miguel Ángel Hernández Acosta  
*Diseño de portada:* Dra. Lucero Fabiola García Franco

D.R. © Universidad Autónoma Metropolitana  
**Unidad Cuajimalpa** / División de Ciencias de la Comunicación y Diseño  
Avenida Vasco de Quiroga #4871, Colonia Santa Fe Cuajimalpa,  
Alcaldía Cuajimalpa, C.P. 05348, Ciudad de México.  
Conozca nuestro repositorio editorial en  
<http://dccd.cua.uam.mx/repositorio/>

D. R. © 2022, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora  
Calle Plaza Valentín Gómez Farías 12, San Juan Mixcoac,  
03730, Ciudad de México  
Conozca nuestro catálogo en [www.mora.edu.mx](http://www.mora.edu.mx)

Prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier medio sin la autorización por escrito de la Universidad Autónoma Metropolitana, el editor o el autor.

Este libro fue dictaminado positivamente por pares académicos mediante el sistema doble ciego, evaluado y liberado para su publicación por el Consejo Editorial del Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.  
ISBN: 978-607-28-2463-8 UAM  
ISBN: 978-607-8793-53-2 Instituto Mora

Derechos reservados © 2022 | Impreso en México

# Índice

<b>Prefacio</b>	11
Christopher Heard	

<b>Introducción</b>	13
Gustavo Sosa Núñez y Sazcha Marcelo Olivera Villarroel	

## CIENCIAS NATURALES

<b>1. Efecto del cambio climático sobre las estrategias de manejo y conservación de las tortugas dulceacuícolas en Tabasco, México</b>	23
Claudia Elena Zenteno Ruiz, Casiano Méndez Sánchez, Diana Ivette Triana Ramírez y Judith Andrea Rangel Mendoza	

<b>2. Variabilidad climática en las cuencas transfronterizas del sureste mexicano: un acercamiento a la comprensión de los efectos climáticos</b>	51
Mercedes Andrade-Velázquez y Ojilve Ramón Medrano-Pérez	

<b>3. Impacto del cambio climático en la extensión, estructura y diversidad de las comunidades de manglares en el estado de Tabasco</b>	73
Ángel Sol Sánchez, Gloria Isela Hernández Melchor y Juan Manuel Zaldívar Cruz	

<b>4. Cambio climático y perspectivas agroalimentarias en el noroeste de México</b>	93
Rodrigo Tovar Cabañas, Rocío del Carmen Vargas Castilleja y José Clemente Rueda Abad	

## SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS

<b>5. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en San Pedro El Saucito, Sonora, y Progreso, Yucatán</b>	117
Miriam Alfie C. y Gustavo M. Cruz-Bello	

<b>6. El enfoque ecosistémico en la gestión de las aguas subterráneas de la Ciudad de México como estrategia para hacer frente al cambio climático</b>	143
Fabiola S. Sosa Rodríguez	

<b>7. El impacto del cambio climático sobre la productividad del maíz de temporal</b>	179
Sazcha Marcelo Olivera Villarroel	

<b>8. Agua, recurso primordial para alcanzar la seguridad alimentaria</b>	207
María Eugenia Olvera Varillas	

#### CIENCIAS SOCIALES

<b>9. El acceso a la energía eléctrica sustentable: derecho humano fundamental</b>	227
Marco Antonio Heredia Fragoso	

<b>10. Derechos humanos y cambio climático</b>	251
Simone Lucatello y María Eugenia Mesta Espinosa	

<b>11. Retos y perspectivas para combatir el cambio climático en México</b>	271
Gustavo Sosa Núñez	

#### PERCEPCIÓN SOCIAL

<b>12. Percepción y conocimiento del cambio climático en escenarios locales</b>	289
Elizabeth Olmos-Martínez, Gabriela Cruz-Piñón y Alfredo Ortega-Rubio	

<b>13. El cambio climático y la percepción social. Estudio de caso: Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo</b>	311
Elizabeth Olmos Martínez, Gabriela Cruz Piñón y María de la Luz Robles Camacho	

<b>14. Percepción sobre cambio climático y género en una zona costera vulnerable del sureste de México</b>	<b>333</b>
Magdalena Lagunas-Vázquez, Alejandro López-Lázaro y Jhenifer del Carmen Hernández Occegeda	
<b>ARTE Y CAMBIO CLIMÁTICO</b>	
<b>15. Cambio climático y resiliencia artística en México comparada con otros países</b>	<b>355</b>
María Teresa Solís Hernández	
<b>16. La sequía: códigos de representación del acontecimiento climático en el cine mexicano</b>	<b>389</b>
Raúl Roydeen García Aguilar	
<b>Conclusiones</b>	<b>411</b>
Sazcha Marcelo Olivera Villarroel y Gustavo Sosa Núñez	



## Prefacio

Christopher Heard

Si bien el tema del cambio climático se ha incorporado a planes gubernamentales y de otras organizaciones mexicanas, el proceso de formulación de planes y su implantación requiere de constante actualización en función de los nuevos conocimientos e información. Esta última puede ser sobre aspectos del cambio climático anteriormente desconocidos, y que en el presente proveen mayor certidumbre sobre los efectos de éste o que posibilitan nuevos enfoques.

En este sentido, la visión académica es de gran importancia, por una parte, para informar a los responsables de la formulación de planes y políticas para enfrentar, mitigar o reducir el cambio climático y, por otra, al ciudadano quien, en el ejercicio de su responsabilidad democrática de participar en el debate y discusión pública, necesita de fuentes de conocimiento confiables e independientes.

La naturaleza multidisciplinaria del presente tomo facilita el entendimiento de los impactos del cambio climático desde múltiples puntos de vista y ayuda en la formulación de una apreciación sistémica del fenómeno. Además, a través de un libro se permite la incorporación, entre un par de portadas, de un número importante de diversos aspectos del tema los cuales no convivirían en las distintas revistas científicas especializadas.

Es usual que cada especialista entienda desde su conocimiento profundo aspectos puntuales del impacto del cambio climático. Sin embargo, para proponer, diseñar e implementar políticas que pretendan enfrentar los efectos de éste y/o reducirlo se requieren de un conocimiento y visión de lo interconectado o sistémico del proceso que se busca analizar. Sin éstos se corre el riesgo de implantar acciones cuyas consecuencias sean peores que el mal que se pretende sanar.

No solamente es importante que tomadores de decisiones de políticas públicas y de organizaciones no gubernamentales tengan conocimiento de manera integral de los impactos del cambio climático en México, sino también que los especialistas científicos ubiquen los efectos de este fenómeno fuera de su campo de especialización. En especial, esto es fundamental para quienes desarrollan las herramientas para el diseño de artefactos, sistemas e infraestructura que trascenderán varios periodos de administraciones políticas, y quienes encontrarán en este libro el enfoque actualizado y puntos de vistas desde diversas disciplinas que resultan de gran ayuda.

Así, el presente trabajo sembrará una semilla que permite entender la esencia del pensamiento unificado, imprescindible para obtener medidas exitosas en la lucha contra el cambio climático.

## Introducción

Gustavo Sosa Núñez  
y Sazcha Marcelo Olivera Villarroel

El cambio climático es el problema más importante que enfrenta la humanidad. La comunidad internacional ha entendido la magnitud de este fenómeno y acordado acciones concretas en el marco de la Organización de las Naciones Unidas. La evidencia sobre el efecto de la actividad humana sobre las condiciones básicas del clima ha permeado al plano nacional, al estar los Estados dispuestos a formular estrategias para contrarrestar el problema, ya sea mediante medidas de mitigación o adaptación.

Sin embargo, aún hay reticencia a cambiar la forma de cómo se conceptualiza la vida actual y a plantear cambios profundos en el comportamiento individual y social. Entre más drástica sea la medida, menor es la disposición para adoptarla. En este sentido, la tendencia, y lo políticamente correcto, es pensar que el problema se está abordando y que puede solucionarse. No obstante, los impactos del cambio climático ya están presentes en México, lo que incrementa la variabilidad del clima, hecho que se expresa en cambios en los patrones de lluvia y temperatura. Estos últimos vienen asociados a la incertidumbre de las actividades humanas vinculadas al incremento de eventos climáticos extremos relacionados a huracanes o sequías que ocasionan pérdidas de cultivos o el agotamiento de las fuentes superficiales de agua potable, entre otros fenómenos.

Los diversos patrones climáticos del país explican tanto la alta biodiversidad de la región como las múltiples expresiones socio-culturales de cada uno de los pisos climáticos. Por ello, cambios en los patrones climáticos significan pérdidas importantes en la diversidad biológica de regiones completas y, con ellas, de expresiones identitarias y modos de vida relacionados con el acceso a recursos básicos (agua, luz, salud y educación, entre otros), migración de extensas regiones del país y, en última instancia, efectos de largo plazo en la seguridad alimentaria.

Al reconocer que el cambio climático es un problema multifactorial, interdisciplinario y transversal a políticas públicas, este proyecto reúne contribuciones de académicos especialistas en el tema. La finalidad es explorar el estado del arte actual en México, presentar avances de investigación, así como proponer caminos por explorar. Esto se hace con la intención de fomentar el diálogo científico, el aprendizaje mutuo y la posible conformación de una red académica de colaboración en torno a este tema de interés común, en el que se deben expresar diferentes visiones sobre los impactos del cambio climático en el país.

Los contenidos centrales abordados por las diferentes investigaciones parten de temáticas locales y sectoriales y, en conjunto, esbozan la importancia de entender los efectos actuales del clima sobre las principales actividades económicas y sociales, así como sus efectos en el manejo de los recursos de las diferentes regiones del país. También, se contempla el manejo de recursos que cruza más allá de los sectores económicos e incluye la interrelación entre la conservación de especies representativas de hábitats específicos, y el manejo del recurso agua como hábitat y fuente de vida (tanto para la población local como para la flora y fauna de una región). Aunado a esto, se incluyen temáticas como la influencia del clima en la seguridad alimentaria, y los efectos de cambios en los patrones de producción de alimentos y en la distribución de la población en el territorio.

En este contexto, este libro está segmentado en cinco grandes temas, pues permite observar la diversidad de enfoques a través de los cuales se pueden observar los impactos del cambio climático: ciencias naturales, sistemas socio-ecológicos, ciencias sociales, percepción social y arte. Cada una de estas secciones presenta perspectivas sobre la realidad nacional, contextualiza la problemática, presenta características y ofrece propuestas para profundizar en el conocimiento sobre el impacto del cambio climático en México.

En el primer capítulo se aborda, desde el enfoque de las ciencias naturales, el “Efecto del cambio climático sobre las estrategias de manejo y conservación de las tortugas dulceacuícolas en Tabasco, México”. Ahí, se comentan los impactos adversos actuales que afectan la distribución, abundancia y calidad de los recursos del hábitat que son utilizados por estas especies para su alimentación, refugio y nidación, lo que pone en riesgo su capacidad de adaptación. Además, se analizan evidencias de los efectos del cambio climático sobre diferentes estrategias de aprovechamiento y conservación de las tortugas en Tabasco. También se evalúa la necesidad de integrar un modelo de manejo adaptativo de las especies de tortugas dulceacuícolas para reducir su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático y diseñar los indicadores pertinentes para cada especie.

El segundo capítulo, titulado “Variabilidad climática en las cuencas transfronterizas del sureste mexicano: un acercamiento a la comprensión de los efectos climáticos”, ubica a los territorios de la frontera sur de México como los que registran mayor vulnerabilidad a los impactos asociados a la variabilidad y cambio climático. El estudio determina las transformaciones en las variables climáticas de referencia –precipitación y temperatura– de 1960 a 2016, e identifica las zonas en las cuencas transfronterizas del sureste mexicano con mayor exposición temporal a los cambios del clima en las últimas décadas. Asimismo, se busca identificar y establecer la incidencia que los diversos controlado-

res climáticos poseen en el comportamiento del clima en la zona; con lo que se busca contribuir al conocimiento *in situ* y propiciar la resiliencia ante los efectos del cambio climático.

Por su parte, el tercer capítulo, “Impacto del cambio climático en la extensión, estructura y diversidad de las comunidades de manglares en el estado de Tabasco”, refiere la evaluación del comportamiento de las poblaciones de mangle en la costa entre 2008 y 2011, mismas que han sido impactadas por eventos meteorológicos. Los autores indican que el complejo de tipos de vegetación de la zona se debe a que el mangle ha colonizado áreas que primero fueron salinizadas.

El cuarto capítulo de esta sección refiere al “Cambio climático y perspectivas agroalimentarias en el noreste de México”. En él se clama la pertinencia de llevar a cabo estudios que contribuyan a focalizar las regiones que han experimentado cambios en variables climáticas y que ponen en riesgo la seguridad alimentaria en el país. Asimismo, se analizan las variaciones geográficas que han sufrido las regiones climáticas y su relación con las fronteras agropecuarias en el norte y noreste de México, mostrando las debilidades y amenazas que dicha dinámica traerá consigo.

La segunda sección, enfocada en los sistemas socio-ecológicos, inicia con el capítulo “Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en San Pedro El Saucito, Sonora, y Progreso, Yucatán”. Este trabajo considera los procesos de adaptación al cambio climático en dos comunidades que se enfrentan a múltiples eventos meteorológicos. Se plantean dos metodologías participativas para conocer la situación de riesgo y vulnerabilidad que viven estos espacios, y la manera en cómo la gobernanza del riesgo puede contribuir en el fortalecimiento de redes sociales y buenas prácticas. En esta dinámica, los autores proponen usar un nuevo concepto: la *gobernanza del riesgo*, a fin de entender la importancia de la participación y deliberación comunitaria en la adopción de medidas de adaptación.

Por su parte, el sexto capítulo, titulado “El enfoque ecosistémico en la gestión de las aguas subterráneas de la Ciudad de México como estrategia para hacer frente al cambio climático”, explora la aplicación del pensamiento ecosistémico al considerar diferentes escenarios de adaptación. Primero, plantea la gestión ambiental adaptativa como un marco útil para la gestión de las aguas subterráneas. Luego identifica los componentes y elementos que conforman el sistema de las aguas subterráneas y, posteriormente, propone recomendaciones de política orientadas a fortalecer las capacidades de adaptación ante el cambio climático.

En cuanto al séptimo capítulo, “El impacto del cambio climático sobre la productividad del maíz de temporal”, estima el impacto del cambio climático sobre la productividad del maíz de temporal y su relación con la seguridad alimentaria en México. Para ello, se evalúan los efectos de la temperatura y precipitaciones en los rendimientos de maíz de temporal de 2003 a 2007. Esta información se incorpora a escenarios de cambios de temperatura y precipitación entre 2030 y 2039 para explorar los efectos del cambio climático en la principal fuente de alimentación de las poblaciones rurales.

El último capítulo de esta sección, “Agua, recurso primordial para alcanzar la seguridad alimentaria”, señala que uno de los efectos del cambio climático es la variabilidad de los patrones en la oferta y demanda de agua para la agricultura. Al respecto, se puede esperar que cambien la extensión y la productividad de la agricultura de riego y de secano. En consecuencia, los medios de subsistencia de las comunidades rurales y la seguridad alimentaria están en riesgo debido a la gestión del agua. Por ello se deben adoptar medidas que se basen en prácticas agronómicas mejoradas y sustentables para reducir los efectos del cambio climático con el manejo propicio de los recursos naturales.

La tercera sección refiere a las ciencias sociales. Al respecto, el noveno capítulo, “El acceso a la energía eléctrica sustentable: derecho humano fundamental”, identifica el derecho humano a

este tipo de energía, lo cual se considera novedoso en un mercado que permite el acceso de particulares en la generación de energía y el papel de las energías renovables para garantizar la sustentabilidad de la industria. Asimismo, se acompañan aspectos sobre la sustentabilidad efectiva de la energía eléctrica en el contexto de la Agenda de Desarrollo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030, y de la Contribución Determinada a Nivel Nacional derivada del Acuerdo de París.

El décimo capítulo hace referencia a los “Derechos humanos y cambio climático”. Los autores consideran que éste es un tema poco tratado en la región. Por ello, conceptualizan la geoingeniería como la intervención del ser humano a gran escala por medio de instrumentos o acciones de adaptación basados en alta tecnología para modificar los sistemas planetarios frente a los efectos del cambio climático, y establecen una relación con los derechos humanos, los cuales deben ser la base de una política pública integral de atención a la población frente a los efectos irreversibles del cambio climático y de las consecuencias de la ingeniería climática. El caso de estudio se da en Puebla.

El undécimo capítulo es “Retos y perspectivas para combatir el cambio climático en México”. Aquí se hace referencia a la posición de nuestro país al abordar el problema y al tener una política nacional en la materia, con instrumentos legislativos y programáticos. Aun con esto, se observa que la implementación es todavía un reto y tiene áreas de oportunidad: falta entendimiento de la problemática, sentido de urgencia para implementar acciones y apropiación del tema por parte de los actores involucrados. Hay otros retos por abordar, como la concientización de la ciudadanía, la profundización de la relación de los derechos humanos con el cambio climático, así como la internacionalización multidisciplinaria necesaria para mitigar y adaptarnos a este fenómeno de escala mundial. Por ello, se afirma que es fundamental aprovechar la estructura de política pública que ya ha sido creada para combatir el problema.

La siguiente sección refiere a la percepción social. En este sentido, el duodécimo capítulo “Percepción y conocimiento del cambio climático en escenarios locales”, señala que la percepción de la ciudadanía es determinante para adecuar las estrategias de adaptación a los impactos del cambio climático. En él se analiza la percepción y el conocimiento del cambio climático en un escenario local, aplicando un cuestionario del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

El décimo tercer capítulo, “El cambio climático y la percepción social. Estudio de caso: Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo”, se centra en la identificación de los efectos del cambio climático a través de la percepción de la población por medio de la aplicación de encuestas. Los resultados señalan que la mayoría de los encuestados perciben que el cambio climático afecta principalmente a la biodiversidad, y que los impactos son tanto para zonas rurales como urbanas. Además, acotan que la población percibe los efectos del cambio climático, pero no cuenta con información para llevar a cabo medidas de adaptación. Asimismo, bajo la percepción de la población, no hay beneficios de los servicios ecosistémicos del estero, lo que afecta la vulnerabilidad ambiental y social.

El capítulo “Percepción sobre cambio climático y género en una zona costera vulnerable del sureste de México” es un estudio cualitativo llevado a cabo en la parte costera del municipio de Cárdenas, Tabasco. El propósito principal fue identificar la percepción sobre cambio climático con perspectiva de género e intergeneracional, y se identificó que el entorno marino-costero del lugar está sobrellevando una modificación costera multifactorial, que hace muy vulnerable la vida humana en la zona.

El siguiente apartado corresponde a las artes y el cambio climático. El capítulo décimo quinto, “Cambio climático y resiliencia artística en México comparada con otros países”, indica que el

sector creativo abre oportunidades prometedoras para aprovechar la imaginación cívica, y generar una mayor cohesión y resiliencia, respecto a los efectos del cambio climático, como una de las mayores amenazas de nuestro tiempo. Artistas, comunicadores, gestores culturales y creativos inspiran y fortalecen las capacidades de las personas y las comunidades para enfrentar lo inesperado y redefinir su propio futuro. En este contexto, el cambio climático en México encuentra la respuesta artística en su interpretación audiovisual, digital, fotográfica y fílmica.

El capítulo décimo sexto, “La sequía: códigos de representación del acontecimiento climático en el cine mexicano”, comenta sobre la capacidad del cine como un medio para transmitir sensibilidad ecológica en torno a esta problemática. Para cumplir este objetivo el texto se centra en las codificaciones fílmicas más frecuentes de este problema: 1) el cine comercial espectacular, cuya fuente principal es la industria de Hollywood; 2) la eco-ficción, género intermedio que retoma publicaciones científicas y condiciones ambientales del dominio público (escasez de recursos naturales, contaminación ambiental) como fuentes para establecer narraciones sobre mundos posibles derivados de estas condiciones, y 3) el cine documental mexicano que contribuye a despertar la sensibilidad ecológica, al visibilizar la cotidianidad de personas que viven en condiciones ambientales extremas.

El libro concluye con los hallazgos principales, a fin de denotar el contexto en el cual se están dando los impactos del cambio climático en México.

# CIENCIAS NATURALES



# 1. Efecto del cambio climático sobre las estrategias de manejo y conservación de las tortugas dulceacuícolas en Tabasco, México

Claudia Elena Zenteno Ruiz,  
Casiano Méndez Sánchez,  
Diana Ivette Triana Ramírez  
y Judith Andrea Rangel Mendoza

## Introducción

El cambio climático se percibe a nivel mundial como un riesgo ambiental importante. Dicho riesgo, en combinación con la degradación ambiental a través de la contaminación química y la pérdida de hábitat, tiene el potencial de tener un impacto severo en las poblaciones de vida silvestre.

Tabasco se ha identificado por su alta vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, esto debido a su ubicación en una extensa llanura inundable y de escasa elevación (Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental 2011; Núñez *et al.* 2016). Esta vulnerabilidad se refiere al grado de susceptibilidad de un sistema a los efectos negativos del cambio climático, a la variabilidad climática y a los fenómenos climáticos extremos (Intergovernmental Panel on Climate Change 2007). Datos históricos en Tabasco indican que la temperatura máxima

anual se incrementó en promedio 0.0222 °C por año, que equivale a un aumento promedio de 1.1 °C en el periodo de 50 años (Rivera-Hernández *et al.* 2016).

En la región están presentes actividades antrópicas que actúan de manera sinérgica para aumentar la vulnerabilidad; entre las principales se encuentran la deforestación (especialmente en la parte alta de la cuenca), la pérdida de los bosques de galería que sirven de barrera en los ríos y el crecimiento no planeado de infraestructura que rompe con la hidrodinámica natural. Algunos impactos que se han documentado son los siguientes: alteración y retroceso de la costa, frecuencia de ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos e intrusión salina (Sernapam 2011).

Así como se ha ubicado a Tabasco dentro de un área de máxima vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, también está identificada como parte de un área de endemismo de tortugas dulceacuícolas neotropicales, que es indicador de procesos biogeográficos históricos y aporta información para definir áreas prioritarias de conservación. Así, la costa del Golfo de México y la Península de Yucatán forman parte de una de las dos áreas de endemismos de tortugas neotropicales para México. Para delimitarla se empleó la superposición de la distribución geográfica de siete especies: *Chelydra rossignoni*, *Dermatemys mawii*, *Rhinoclemmys areolata*, *Kinosternon acutum*, *K. creaseri*, *Claudius angustatus* y *Staurotypus tripartitus* (Ippii y Flores 2001); también se encuentran especies de origen neártica como *Trachemys*. De acuerdo con lo anterior (vulnerabilidad y área de endemismos), las acciones que permitan fomentar la conservación de especies prioritarias de tortuga en México, al igual que la sustentabilidad y legalidad del comercio de que son objeto, debe considerar estrategias de manejo adaptativo que incremente la resiliencia de las poblaciones, el hábitat y las unidades de producción.

## Antecedentes

Las estrategias de protección y manejo de la vida silvestre en nuestro país se establecen principalmente en las Áreas Naturales Protegidas, Especies prioritarias y las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida silvestre (UMA). Éstas están referidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), Ley General de Vida Silvestre y la Ley de Pesca. Cabe señalar que las dos primeras regulan lo relativo a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat.

Fue a finales de la década de 1990 cuando la necesidad del establecimiento y operación para el aprovechamiento *in situ* y *ex situ* de la vida silvestre se vio reflejada en una herramienta pública: el Sistema de Unidades para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA), establecido como tal en el año 2000, y regulado en el Reglamento de la Ley General de la Vida Silvestre. Además de complementarse y converger con el Sistema de Áreas Naturales Protegidas, así como en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-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).

En relación con las tortugas dulceacuícolas y los convenios internacionales, cabe destacar la 15ª Reunión del Comité de Fauna de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés), en la que se analizó la situación de *Dermatemys mawii* (incluida en el apéndice II en 1981), junto con otras especies. Esto como parte en el proceso de revisión periódica, con el fin de evaluar su estatus dentro de los apéndices de la CITES. Ahí, México, en coordinación con Guatemala y representantes regionales de Centroamérica, Sudamérica y el Caribe, se ofrecieron a realizar dicha revisión periódica. En una reunión llevada a cabo en Villahermosa, Tabasco, los días 4 y 5 de agosto de 2004 titulada, “Perspectivas para la conservación de la tortuga blanca (*Dermatemys mawii*)”, se acordó el establecimiento de una estrategia

nacional para la especie. Posteriormente, se llevó a cabo el “Taller nacional sobre tortuga blanca (*Dermatemys mawii*): Estado de conservación, aprovechamiento, comercio y revisión de su estatus en los apéndices de la CITES”, en el Centro de Interpretación de la Reserva de la Biósfera (en Pantanos de Centla, Tabasco, del 5 al 7 de abril de 2005), en el cual se compiló e integró la Estrategia Nacional para la Conservación y el Manejo Sustentable de la tortuga blanca en México.

El 27 de marzo de 2009, se realizó en Catemaco, Veracruz, el “Taller para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de las Tortugas Dulceacuícolas del sur-sureste de México”, con la finalidad de promover, capacitar y actualizar la información para la conservación y el aprovechamiento sustentable de las tortugas dulceacuícolas en dicha zona, con particular interés en la tortuga blanca.

En el ámbito estatal, en Tabasco uno de los antecedentes data de 1978 cuando, a través del Programa de Inversión para el Desarrollo Rural, se construyó y operó la Granja de Tortugas dulceacuícolas, hoy Unidad de manejo U Otot Ak, la más importante unidad de manejo intensivo en América Latina en donde se albergan siete especies de tortugas dulceacuícolas con manejo de ciclo completo (en la actualidad está a cargo de la Secretaría de Bienestar Sustentabilidad y Cambio Climático). A través de esta unidad de manejo se ha apoyado con pies de cría, capacitación y al generar conocimiento básico y aplicado a través de transferencia de tecnología a otras unidades de manejo intensivas en el estado y fuera de éste.

En 2010 el gobierno del estado, a través de la Secretaría de Recursos Naturales y Protección al Ambiente (Sernapam), conformó el Comité Ambiental y el Subcomité de las UMA por contingencias hidrometeorológicas en el territorio de Tabasco. Éste realizó acciones de monitoreo de las UMA en el territorio, y como resultado dio un diagnóstico de vulnerabilidad ante las inundaciones de 2010. Posteriormente, esta Secretaría otorgó apoyo en insumos,

herramientas y equipos para el fortalecimiento de dichas unidades. En ese periodo, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) otorgó los primeros apoyos económicos para fortalecer las UMA. En abril de 2012, en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como sede del Grupo de Especialistas en Conservación y Reproducción-UICN/SSC (CBSG Mesoamérica & CBSG México), realizó el “Taller de Análisis de Viabilidad de la Población y del Hábitat (PHVA) de la Tortuga Blanca (*Dermatemys mawii*). Estrategia para la conservación de la especie”.

A nivel local, el consumo de tortugas (tanto en las comunidades rurales como en las urbanas) sigue siendo parte de las prácticas culturales, lo que representa una fuerte presión para las poblaciones silvestres y para las UMA, debido a la captura ilegal y el saqueo, respectivamente. Por otro lado, es destacable que también se han hecho diversos esfuerzos para la conservación de las tortugas dulceacuícolas y que existe una organización de productores constituidos de forma legal, quienes comparten experiencias y buscan mejorar las condiciones del comercio legal de las tortugas. Todas las UMA han tenido, en algún momento, acompañamiento de instituciones gubernamentales y de investigación. Como resultado de lo anterior, se han tenido aciertos en la zootecnia y la producción en número de individuos ha aumentado de manera notable en las dos últimas décadas. Sin embargo, existen dos aspectos poco abordados y que son fundamentales para la conservación de las especies de tortugas: el mantenimiento de la diversidad genética y la adaptación ante los efectos del cambio climático. Las medidas propuestas en el presente documento requieren del trabajo colaborativo de los productores, instituciones gubernamentales, instituciones de investigación, así como de un fuerte involucramiento de la sociedad con el fin de reducir las presiones y contribuir al aprovechamiento sustentable del recurso.

## **Efectos del cambio climático sobre las poblaciones silvestres y el manejo *in situ***

En relación con las poblaciones silvestres que se encuentran en su hábitat natural, es predecible que los efectos del cambio climático influyan sobre la cantidad y calidad de los recursos que son empleados por las tortugas: recursos alimenticios, áreas de anidación, áreas de refugio y estructura, y dinámica de los sistemas acuáticos (Zenteno-Ruiz y Olivera-Gómez 2014), en particular en los humedales donde las altas temperaturas generan una gran cantidad de material combustible y los incendios (naturales o inducidos) actúan de manera sinérgica para acelerar la pérdida de tortugas dulceacuícolas y su hábitat. El empleo del fuego para la quema de la vegetación en diferentes puntos de los humedales es una actividad recurrente, ya que es un método que se usa localmente y provoca que las tortugas salgan a sitios donde son capturadas (Barba-Macías *et al.* 2014; Zenteno-Ruiz *et al.* 2004).

La pérdida de la vegetación original a causa del fuego también contribuye al aumento de la temperatura ambiental en los hábitats de las especies, así como a la escasez de alimento, lo que causa una desestabilidad en temporadas de anidación y modificación de los periodos de incubación. Además, se pueden presentar desajustes en las proporciones sexuales de las especies que presentan determinación sexual por temperatura de incubación (Refsnider y Janzen 2016), como *Chelydra rossignoni*, *Dermatemys mawii*, *Trachemys venusta* y *Rhinoclemmys areolata*. De igual manera, afecta la viabilidad del organismo, causando mortalidad ya sea antes o después de la eclosión.

Por otro lado, las lluvias fuera de temporada alteran la profundidad natural de los ríos y lagunas induciendo el movimiento de las especies a zonas bajas que permiten la sobrevivencia de los individuos. En este mismo sentido, la alteración en la temporalidad de anidación puede exponer a los organismos, ya que, al ser más visibles en temporadas del año no habituales, son vulnerables a ser capturadas para el consumo y comercio, siendo ésta una

fuelle de ingresos, dado que las especies de la pesca tradicional ha empezado a escasear (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación 2015).

Como respuesta ante la adversidad, las tortugas pueden adaptarse y expresar su plasticidad fenotípica por tres mecanismos: ajustando su temperatura umbral, selección del sitio nido (profundidad o el tipo de sustrato) y la fenología de anidación (Ortíz-Yusty, Restrepo y Páez 2014; Refsnider y Janzen 2016). También pueden generar movimiento hacia hábitats subóptimos, lo que trae como consecuencia mayores índices de depredación, disminución de la condición de nutrición e inmunosupresión fisiológica (Zenteno-Ruiz y Olivera-Gómez 2014).

En el caso particular de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla (RBPC) –uno de los humedales más importantes del continente–, los pobladores consideran que las principales causas por las que ha disminuido la presencia de tortugas dulceacuícolas son diversas: incendios, contaminación, deforestación, especies invasoras y sobreexplotación de los recursos naturales. Estas causas tienen impactos negativos tanto ecológicos como sociales y económicos, sin embargo, los efectos del cambio climático imponen tensiones adicionales sobre las poblaciones de tortugas (Willis-Norton *et al.* 2015).

Uno de los efectos más notables del cambio climático es la alteración de las temporadas de secas y lluvias, lo que desata una cadena de modificaciones en el ecosistema desde el suelo, la vegetación y fauna, lo que afecta el hábitat y, por tanto, los recursos para alimentación, refugio y anidación de las tortugas. Por esto las especies buscan nuevos sitios para llevar a cabo sus actividades biológicas y ecológicas. De acuerdo con los pobladores, en la RBPC la época de anidación de las tortugas ocurre en los meses de marzo, abril y mayo, sin embargo, han ocurrido variaciones de temperatura y precipitación, lo que ha provocado que las especies se adapten para atrasar o adelantar el periodo de desove según las condiciones más aptas (algunos habitantes mencionan que han

encontrado huevos de tortugas a finales de los meses de enero y en otras ocasiones hasta julio o agosto).

En los sistemas Grijalva y Usumacinta son diversos los factores que están provocando la pérdida de conectividad y, en consecuencia, la fragmentación del hábitat acuático y terrestre, en particular en la cuenca baja, donde se ubica la RBPC, donde se han identificado cambios en la superficie de la vegetación y uso del suelo (Figura 1). Además, tan sólo del periodo de 1997 a 2016, se observan cambios en las coberturas de vegetación arbórea y una expansión de las comunidades arbustivas; así como en la superficie ocupada por los cuerpos de agua. Estos cambios generan barreras físicas para las especies (reducen la conectividad estructural) como las carreteras en los humedales y otras que obstruyen a los flujos de energía y circulación de la materia (reducen la conectividad funcional), como cambios en las características fisicoquímicas del agua o aumento de depredadores, lo cual incrementa los riesgos asociados al cambio climático. En tortugas dulceacuícolas se ha encontrado que, bajo los predecibles escenarios, son advertidos efectos negativos tanto en la idoneidad del hábitat como en la conectividad (Fagundes *et al.* 2018).

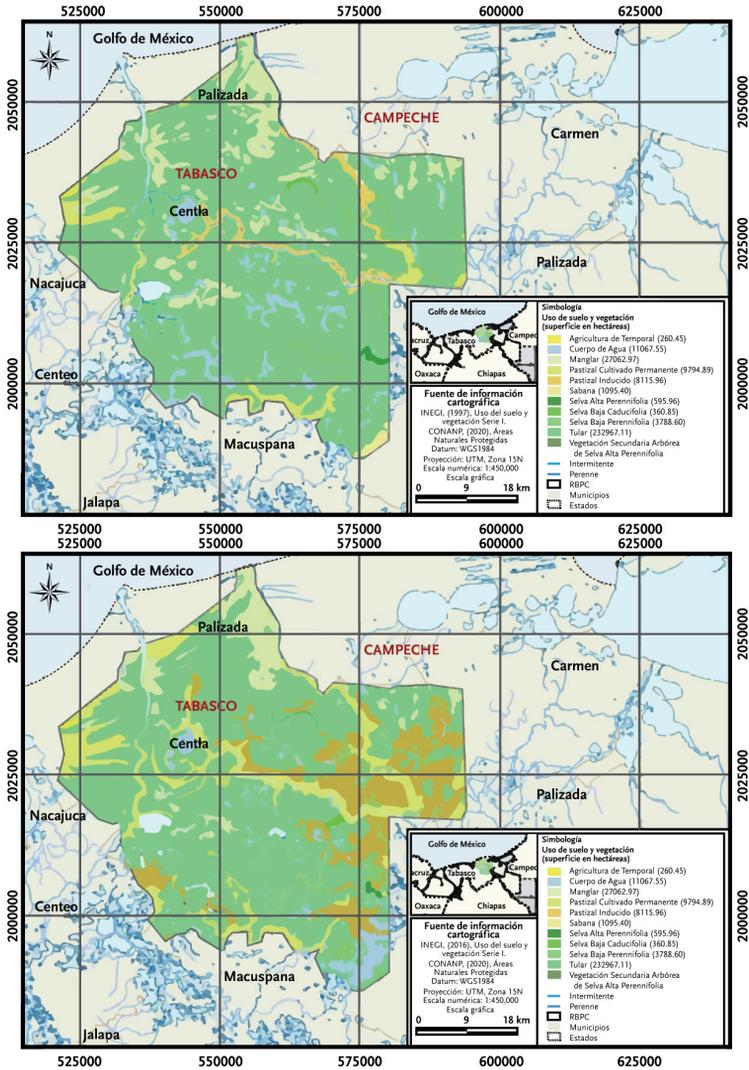


Figura 1. Uso de suelo y vegetación en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (comparación entre 1997 y 2016). Fuente: elaboración propia.

Las presiones antrópicas en la cuenca (como la construcción de presas, ganaderización y deforestación, construcción de caminos, sobrepesca, uso del fuego para extracción de fauna, canalización y desvíos de cauces, caza furtiva o colecta comercial, crecimiento urbano, políticas y programas de desarrollo incompatibles y actividades industriales [Barba-Macías *et al.* 2014]) tienen un efecto sinérgico con los efectos del cambio climático que desencadenan una serie de amenazas sobre los quelonios. Por ello, surge la necesidad de implementar medidas de adaptación que permitan incrementar la resiliencia de las poblaciones y los ecosistemas que incluyan. Entre éstas se consideran: planes de manejo por contingencias, programas de reforestación para restaurar sitios afectados por incendios, proteger los corredores biológicos y sitios de refugio de las especies, evaluar y mejorar los programas de monitoreo de ecosistemas y de vida silvestre, así como desarrollar planes dinámicos de conservación del paisaje (Mawdsley, O'malley y Ojima 2009).

### **Restauración de la vegetación ribereña**

La restauración es un mecanismo de apoyo para facilitar el proceso de recuperación de zonas alteradas; para lograrlo, se requiere del conocimiento de la biología de las especies, crecimiento y producción, entre otros múltiples aspectos que es necesario tener como fundamento para favorecer su éxito en el mediano y largo plazo (Sol-Sánchez, Zenteno-Ruiz y Torres 2002). El diagnóstico para establecer la línea base es fundamental para planificar la restauración y recuperar la cobertura vegetal. Ahora bien, plantar árboles no representa la meta inmediata de la restauración de la integridad que se ha perdido o perturbado, pues es tan sólo uno de los pasos que se deben llevar a cabo para lograr la recuperación de la cobertura vegetal como parte inicial del restablecimiento de los servicios ambientales.

Las especies que se seleccionen para la restauración deben ser multifuncionales y una fuente de alimento para las tortugas

de agua dulce, así como un recurso potencial para su aprovechamiento sustentable (Zenteno *et al.* 2016). Por ello, recomendamos crear y administrar zonas de amortiguamiento ribereños a lo largo de las vías fluviales donde ocurren las tortugas para proporcionar un hábitat terrestre esencial para la anidación y promover la supervivencia de adultos y la estabilidad de la población. También recomendamos la protección del entorno térmico de incubación mediante el establecimiento de áreas restauradas dentro de los hábitats críticos de las especies. Lo anterior como medida de adaptación frente al cambio climático global y el aumento de la resiliencia de los hábitats de anidación en el contexto del manejo adaptativo, como una prioridad en la gestión de las áreas naturales protegidas (ANP).

### **Mantenimiento de la conectividad**

La conectividad del hábitat depende de que estén presentes espacial y temporalmente elementos estructurales y procesos que permitan la supervivencia, reproducción y desplazamiento de las especies. En particular, para las tortugas que tienen amplio desplazamiento terrestre (por ejemplo, *Trachemys venusta*) y acuático (como la *Dermatemys mawii*) esta conectividad es un aspecto del hábitat que se debe analizar de acuerdo con la historia de vida y requerimientos de las especies, ya que actúa de manera diferente en especies de menor desplazamiento como *Kinosternon* y *Claudius*, y, como se ha visto, en *Graptemys geographica* en ambientes templados (Bennett, Keevil y Litzgus 2010). Reducir la conectividad de los hábitats implica una menor movilidad de las tortugas, lo que se traduce en un aislamiento de las poblaciones y esto provoca que no aumenten su diversidad genética, lo que las hace más vulnerable a los cambios del ambiente, y conlleva a un riesgo mayor de extinción local. Lo anterior ocurre de manera particular en poblaciones pequeñas y aisladas que incrementan la endogamia, lo que también está relacionado con la falta de plasticidad para responder a las condiciones que implica el cambio climático (Todd,

Willson y Gibbons 2010). Mantener o mejorar la conectividad del paisaje para facilitar los movimientos de especies es un enfoque primario para mitigar los efectos del cambio climático en la biodiversidad (Fagundes *et al.* 2018). Derivado de lo anterior, surge la pregunta: ¿cómo hacer eficiente la conectividad del hábitat? La respuesta se dirige al establecimiento de corredores biológicos que fomenten la conectividad, los cuales se han diseñado para diversas especies de vertebrados (principalmente en aves y mamíferos), sin embargo, es más limitado para especies acuáticas.

La conectividad del hábitat de las tortugas dulceacuícolas debe analizarse desde el ambiente acuático y el área de influencia en la parte terrestre, hasta los sitios donde las especies tengan movilidad, ya que la interdependencia biológica entre hábitats acuáticos y terrestres es esencial para la persistencia de poblaciones (Semlitsch y Bodie 2003). Las instituciones responsables de autorizar las actividades productivas y de infraestructura en los humedales deben tomar en cuenta las especies que se pueden ver afectadas no sólo por barreras físicas, sino también por la alteración de la conectividad funcional cuando se perturban las características del hábitat a nivel espacial o temporal.

### **Monitoreo de la salud de las poblaciones y del hábitat**

El efecto sinérgico de los procesos asociados al cambio climático y a actividades humanas pone en riesgo la integridad del hábitat y la dinámica de poblaciones de tortugas. De tal manera que, debido a sus capacidades limitadas de dispersión, son especialmente vulnerables a los cambios rápidos del hábitat y pueden sufrir más extinciones locales como resultado de una tasa rápida de cambio climático (Gibbons *et al.* 2000). Por otra parte, la temperatura elevada puede amplificar los efectos de las sustancias consideradas disruptores hormonales (Brown *et al.* 2015) y es probable que estos efectos sean más agudos en poblaciones pequeñas y consanguíneas que muestran una determinación y/o diferenciación ambiental del sexo, como el caso de la mayoría de las tortugas. Está

documentado que tales estreses fisiológicos mediados por el clima pueden comprometer la resistencia del huésped y aumentar la frecuencia de enfermedades oportunistas y emergentes. Por lo anterior, el monitoreo es indispensable para el manejo adaptativo de los hábitats críticos de las tortugas. Dicho monitoreo debe incluir el establecimiento de una línea base y monitoreo de indicadores biológicos y ecológicos. Las condiciones térmicas del microhábitat deben ser consideradas para las futuras decisiones sobre la pertinencia de traslocaciones, debidas a estrés térmico y como una opción emergente para reubicar especies que están amenazadas por cambios desfavorables en el clima local (Mitchell *et al.* 2016).

### **Investigación-acción participativa**

Las acciones de conservación de la biodiversidad, específicamente de las tortugas, deben contar con el involucramiento de las comunidades humanas asentadas en todo su rango de distribución. La percepción y conocimiento local que se tiene sobre las tortugas y su hábitat es fundamental para el establecimiento de programas de protección, recuperación y aprovechamiento sustentable (Valladares y Olivé 2015). Este enfoque participativo proporciona puntos de vista espaciales y temporales que no se pueden apreciar con el conocimiento científico. Además, se pueden encontrar nuevas ideas de comprensión ecológica que permiten identificar oportunidades para investigar (Gagnon y Berteaux 2009), especialmente con efectos sutiles ocasionados por el cambio climático, donde los habitantes de las zonas más vulnerables son quienes tienen información en tiempo real de las consecuencias en el hábitat y las poblaciones, así como del éxito de las medidas de adaptación. Para lo anterior, es factible abordarlo desde la investigación-acción participativa (IAP) como una herramienta fiable que es útil en situaciones colectivas y que provee decisiones sistemáticas para resolver problemas específicos basada en las estrategias participativas, consensuales y democráticas (Berg 2004).

Para el desarrollo de los planes de acción comunitaria dirigidos a la protección del hábitat se propone el diagnóstico inicial a partir del cual se toman decisiones por consenso y se identifican los actores claves para lograr que éstas sean factibles desde lo social y viables técnica y financieramente. Los mapas participativos son herramientas útiles para la gestión de las ANP, el análisis de vulnerabilidad/riesgo ante inundaciones y sequías, además de que generan el empoderamiento de las comunidades y la gobernanza. Para el caso de la RBPC, los mapas participativos han sido utilizados para identificar el hábitat crítico de la herpetofauna, las amenazas locales y las acciones de conservación (Zenteno-Ruiz *et al.* 2016).

◇ ***Efecto del cambio climático sobre las poblaciones cautivas y el manejo ex situ***

Una de las alternativas para la protección de las tortugas en alto grado de vulnerabilidad es el manejo fuera de su hábitat natural y en condiciones de confinamiento. La crianza en cautiverio en México se ha desarrollado desde hace varias décadas, pero se remonta a la etapa precolombina. En tiempos modernos han surgido varios esquemas legalmente constituidos, y fue hasta 1997 cuando se creó el Sistema Nacional de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA). La SUMA trabaja a través de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) que son espacios de promoción de esquemas alternativos de producción compatibles con la conservación de la vida silvestre y, bajo ciertos contextos, son estratégicas para el logro de esos objetivos, pero también son sitios clave para impulsar acciones de adaptación ante el cambio climático (Gómez-Aíza, Álvarez-Balderas y Lombardero-Goldaracena 2014). Asimismo, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) identifica que la organización de un sistema de UMA dentro del Corredor Biológico Mesoamericano representa una herramienta de políticas públicas que puede resultar vital para la construcción de corredores entre áreas protegidas (Robles-de Benito 2009).

Tabasco es uno de los estados donde existe mayor número de UMA de tortugas dulceacuícolas, las cuales se encuentran distribuidas en 11 de los 17 municipios que conforman el estado. Como ejemplo del potencial de resguardo de individuos en estos espacios de conservación, en 2010 el total de organismos confinados tan sólo en nueve de las UMA alcanzaron los 32 848 (siete especies). De éstos, 28 955 individuos son de *Trachemys venusta* (especie más reproducida) y 1 166 son de *Dermatemys mawii* (especie en peligro crítico). En este mismo año, la Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental (Sernapam) del gobierno del estado de Tabasco estimó que 25 UMA, de las 54 registradas, se encontraban en áreas de riesgo de inundación (Sernapam 2011).

Las contingencias hidrometeorológicas suscitadas en 2007 y 2008 en el estado trajeron como consecuencia la afectación de ocho UMA que se encontraban en las áreas de inundación, provocando daños a la infraestructura, mortalidad, fuga de organismos y contaminación de las áreas de reproducción (Comisión Económica para América Latina y el Caribe 2011). Para 2016 en Tabasco ya se tiene un registro de 92 UMA, que albergan especies nativas y exóticas en alguna categoría de riesgo; de éstas, 42 tienen en confinamiento a reptiles, correspondiendo 57% a tortugas.

Además de las consecuencias directas e inmediatas de los eventos extremos sobre las UMA, también existe influencia de las variaciones del clima sobre múltiples procesos asociados al manejo en cautiverio. En general, el grupo de los reptiles en cautiverio son más resistentes que otros grupos de vertebrados, sin embargo, condiciones extremas ponen en riesgo su estado fisiológico y su capacidad reproductiva. En particular, un factor que limita el bienestar de los organismos en las UMA de tortugas de Tabasco es el manejo del agua (cantidad y calidad). Por un lado, la escasez de agua provoca insuficientes o nulos recambios que traen como consecuencia la sobrecarga de desechos del metabolismo, lo que representa mayor materia orgánica y aumento en las coliformes que comprometen la salud de los organismos (Rangel-Mendoza y

Weber 2015). Por otro lado, el exceso de agua (sobre todo por precipitación extrema) e inundaciones generan mayor vulnerabilidad a estar colonizados por más microorganismos zoonóticos que los que se encuentran en estado silvestre (Carriquiriborde 2010).

En Tabasco las precipitaciones ocurren durante todo el año, siendo más abundantes en los meses de junio a octubre, debido a que este territorio es una planicie de inundación en que este tipo de eventos ocurren de manera natural, recurrente, todos los años con menor o mayor intensidad. Sin embargo, históricamente se han registrado grandes inundaciones en el Tabasco moderno (1995, 1999, 2007, 2008 y 2020) con fuertes impactos económicos y ambientales (Cepal 2011; Arreguin-Cortés *et al.* 2014). En las últimas dos décadas la precipitación anual acumulada presenta amplias variaciones de un año a otro (Figura 2). Estas inundaciones temporales, en algunos casos prolongadas hasta por un par de meses, generan un continuo de agua estancada o en corriente en la superficie de zonas urbanas y rurales, dispersando no sólo residuos domésticos, peligrosos e industriales, sino también material biológico-infeccioso con potencial zoonótico.

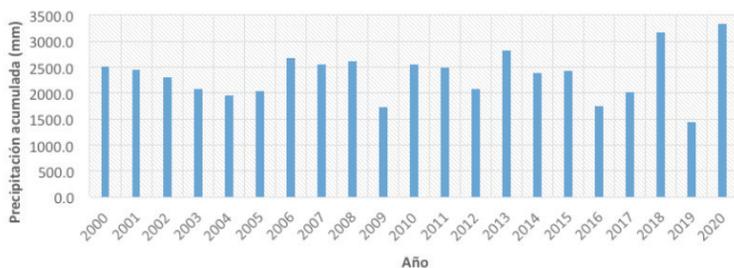


Figura 2. Precipitaciones anuales acumuladas en el estado de Tabasco (2000-2020). Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que los reptiles domésticos o cautivos se identifican como reservorio para los patógenos zoonóticos potenciales (virus, bacterias y hongos) y las bacterias, en particular, se excre-

tan como flora normal (Back *et al.* 2016). Así, por ejemplo, Hernández-Tario (2013) identificó la seroprevalencia de anticuerpos antileptospira en *Dermatemys mawii* en tres poblaciones cautivas en Tabasco, además de que encontró una mayor prevalencia para los serovares *Canicola* e *Icterohaemorrhagiae* e infirió que las escorrentías permiten la recirculación de serovares asociados con fauna silvestre y doméstica alrededor de las unidades de manejo. En otras latitudes, uno de los casos más conocidos de zoonosis es el de *Salmonella* en los cultivos de la tortuga de orejas rojas (*Trachemys scripta*) y está documentado que los eventos de temperatura/precipitación extrema –que se espera sean más frecuentes e intensos en las próximas décadas (IPCC 2013)– están impactando de manera desproporcionada a las comunidades costeras con respecto a salmonelosis (Jiang *et al.* 2015).

Otro aspecto relacionado con el manejo es el mantenimiento de la diversidad genética, ya que representa la materia prima para facilitar la adaptación a las condiciones ambientales cambiantes a través de la selección natural. Por lo tanto, la pérdida de diversidad genética puede resultar en la pérdida de potencial adaptativo (Alacs, Janzen y Scribner 2007). En 2012 se evaluó la condición genética de *Dermatemys mawii* en cuatro UMA diferentes de Tabasco, y se encontró que existe riesgo de pérdida de diversidad genética y, por lo tanto, disminución del potencial adaptativo ante ambientes cambiantes (Zapata-Hernández 2012). También la expresión de la plasticidad fenotípica de los organismos debe ser monitoreada, ya que es posible que las técnicas de incubación o condiciones de las áreas de anidación tengan que estar en constante adaptación ante tales cambios para lograr el éxito de la UMA.

### **Planes de contingencia**

Los planes de manejo con los que se autorizan y registran las UMA contienen un apartado relacionado con la atención a contingencias. Por lo regular incluyen medidas generales que no contemplan la naturaleza de la contingencia y la logística, en caso de presentarse.

En 2007, Tabasco recibió lluvias intensas y constantes, por encima de las medias históricas, mismas que causaron las inundaciones más catastróficas de la historia reciente de la entidad. Los impactos en términos de daños (acervo, patrimonio, bienes, estructuras construidas, capital natural afectado) no tienen precedentes similares (Cepal 2011). Al ser las inundaciones la contingencia más severa que afrontan las UMA, se identificó la necesidad de generar un Plan de Respuesta por Inundación, que incluyera diferentes etapas de atención y un calendario de revisiones, adecuaciones y simulacros. El plan de contingencia por eventos hidrometeorológicos deberá contener un conjunto de acciones destinadas primordialmente a salvaguardar la vida de tortugas dulceacuícolas, así como los bienes que intervienen en los procesos productivos de esas especies y preservar los servicios públicos que brinda la UMA.

Méndez-Sánchez y Hernández-Méndez (2016) proponen un modelo para atender las contingencias hidrometeorológicas (Figura 3) que incluye medidas preventivas y un Plan de Respuesta por Inundación que comprende las siguientes fases:



Figura 3. Modelo propuesto para la atención a contingencias en unidades de manejo de tortugas. Fuente: Méndez-Sánchez y Hernández-Méndez (2016).

## **Bioseguridad y bienestar animal en las UMA**

Las medidas de bioseguridad son indispensables en unidades de manejo animal para proteger la salud de los organismos y del personal de las UMA, es decir, el control de las enfermedades zoonóticas. Los puntos críticos de bioseguridad se pueden resumir en: ración de agua, control de vectores y animales silvestres (especial atención a los reservorios primarios de infecciones).

Aplicar medidas de bioseguridad puede reducir los niveles de prevalencia de las infecciones/enfermedades, con especial atención a aquéllas que suponen un riesgo para la salud pública (Hernández-Tario 2013). Ante los cambios ambientales extremos, el registro de la condición de salud y comportamiento de los organismos es indispensable para generar una respuesta oportuna para la atención de contingencias sanitarias. Desde el punto de vista productivo, el seguimiento debe ir acompañado de la evaluación constante de variables funcionales y aplicadas, de los componentes claves en la producción animal (tales como cuidado, control genético, sanidad, nutrición, reproducción) e incluso aspectos administrativos (Rangel-Mendoza y Weber 2015).

El incremento de las temperaturas en la época de sequía son estresores que afectan el éxito del manejo. La termorregulación, incubación de los huevos y fisiología digestiva son procesos fisiológicos asociados a la temperatura que requerirán de la adecuación de infraestructura (para lograr el rango aceptable para los organismos) y modificación de los protocolos de manejo (para reducir el efecto térmico sobre la condición de los organismos y sesgos en la proporción de sexos). La expresión de la plasticidad adaptativa de las especies, así como los cambios en la fenología reproductiva y selección de los sitios de anidación, deben ser documentados para hacer ajustes en el plan de manejo y protocolos dentro de las UMA. Por otro lado, alteraciones en la sobrevivencia, crecimiento, malformaciones y fertilidad son indicadores que deben ser monitoreados para identificar su posible fuente (ambiental y/o genética).

## Conservación de la diversidad genética

Para adaptar los sistemas de producción a los efectos del cambio climático es necesario introducir recursos zoogenéticos que estén bien adaptados a las condiciones cambiantes. En particular, para *Dermatemys* se sugiere conservar los diferentes haplotipos identificados a través de todo su rango de distribución (González *et al.* 2013), como medida precautoria en tanto no se conoce cómo responden de manera más flexible y resiliente ante el cambio climático.

Asimismo, es necesario desarrollar métodos para caracterizar los rasgos más pertinentes de adaptación (tolerancia al calor, resistencia a las enfermedades, capacidad digestiva y cambios en la fenología reproductiva, entre otros) y para describir estos entornos de producción de manera estándar (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015). La genética puede alimentar la planificación y gestión de la conservación mediante la identificación de linajes evolutivos diferenciados y la estructuración de la población local. La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) propone formular políticas y procedimientos que garanticen la compatibilidad genética, la ausencia de enfermedades y las posibilidades de supervivencia de los ejemplares de *Dermatemys* nacidos en cautiverio y, posteriormente, liberados para reintroducción en su entorno natural (CCA 2017). Dado que la mayor parte de las UMA tienen objetivos productivos, se propone que se establezcan colonias para la conservación, caracterizados molecularmente, y que se realicen las cruzas que mantengan la diversidad genética como medida de adaptación ante el cambio climático. Rangel-Mendoza y Weber (2015) sugieren el establecimiento de una población cautiva con un *stock* genético apropiado para la reintroducción, así como desarrollar protocolos para evitar transmisión de agentes infecciosos que perjudiquen a otras poblaciones silvestres.

## Conclusiones

La forma en que las poblaciones de tortugas respondan a los efectos que se esperan con el cambio climático dependerá de su historia de vida y características demográficas. Las comunidades de tortugas presentan diferentes grados de vulnerabilidad y de respuestas adaptivas a dichos cambios, así como de susceptibilidad a la extinción local debido a efectos sinérgicos con actividades antrópicas.

Para el manejo *in situ* será fundamental identificar y proteger los hábitats críticos de las especies de tortugas. Además, se deberán generar condiciones de conectividad del ambiente ripario que incluya la parte acuática y terrestre, así como establecer corredores biológicos locales, que reduzcan la vulnerabilidad no sólo ambiental, sino también ante la depredación y la sobre captura de que son objeto los quelonios. Las comunidades humanas asentadas en el hábitat de las tortugas, a través de esquemas sustentables, podrían representar los actores más significativos para su conservación.

Los sistemas de manejo *ex situ* en Tabasco tienen un reto por delante, ya que los efectos predecibles asociados al cambio climático indican que estos estarán sujetos a impactos ambientales constantes, lo que repercutirá en la necesidad del monitoreo sistemático de indicadores de bienestar animal y productividad para ajustar las técnicas de manejo de las especies que contienen. Los riesgos por eventos extremos hacen necesario que el personal esté capacitado, alerta y organizado para operar los planes de contingencia y en constante coordinación con las instituciones relacionadas con la seguridad y protección civil. Asimismo, los protocolos de bioseguridad deben ser una prioridad para asegurar la salud de los organismos y las personas encargadas del manejo.

El reto venidero para el manejo de las tortugas estará en el fortalecimiento de la capacidad adaptativa, entendida como la disponibilidad de los recursos humanos e institucionales que permitan detonar medidas de adaptación a una problemática climática específica. Finalmente, se debe entender que para la

conservación de las tortugas ante los escenarios de cambio climático se requiere ver de manera sistemática e integral el manejo tanto *ex situ* e *in situ*, y que éstos no son procesos independientes y estáticos, y que para realizar los ajustes necesarios se deben evaluar indicadores a través de modelos de manejo adaptativo que permitan incrementar la resiliencia de las especies y de los ecosistemas que forman su hábitat.

## Referencias

- ALACS, E. A., Janzen y K. T. Scribner. 2007. "Genetic Issues in Freshwater Turtle and Tortoise Conservation". <https://fjanzen.public.iastate.edu/pdf/07ChelResMonogr.pdf>.
- ARREGUIN-CORTÉS, F. I., H. Rubio-Gutiérrez, R. Domínguez-Mora y F. Luna-Cruz. 2014. "Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el período 1995-2010". *Tecnologías y ciencias del agua* 5, n.º 3: 5-32.
- BACK, D. S., G. W. Shin, M. Wendt y G. J. Heo. 2016. "Prevalence of Salmonella spp. in pet turtles and their environment". <https://doi.org/10.5625/lar.2016.32.3.166>.
- BARBA-MACÍAS, E., F. Valadez-Cruz, M. Á. Pinkus-Rendón y M. J. Pinkus-Rendón. 2014. "Revisión de la problemática socioambiental de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco". *Investigación y Ciencia* 22, n.º 60: 50-57.
- BENNETT, A. M., M. Keevil y J. D. Litzgus. 2010. "Spatial ecology and population genetics of northern map turtles (*Graptemys geographica*) in fragmented and continuous habitats in Canada". *Chelonian Conservation and Biology* 9, n.º 2: 185-195.
- BERG, B. L. 2004. *Qualitative research methods for the social sciences*. 5ª ed. Long Beach: Pearson.

- BROWN, A. R., S. F. Owen, J. Peters, Y. Zhang, M. Soffker, G. C. Paull, D. J. Hosken, M. A. Wahab y C. R. Tyler. 2015. "Climate change and pollution speed declines in zebrafish populations". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, n.º 11: E1237-E1246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1416269112>.
- CARRIQUIRIBORDE, M. 2010. "Enfermedades zoonóticas asociadas a reptiles". *Revista Veterinaria Argentina* IV, n.º 48: 1-12.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (Cepal). 2011. *Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las lluvias extremas de 2008*. Ciudad de México: Cepal.
- COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL (CCA). 2017. Herramienta para la evaluación de la vulnerabilidad en áreas marinas protegidas de América del Norte. Montreal. Comisión para la Cooperación Ambiental.
- FAGUNDES, C. K., R. C. Vogt, R. A. de Souza y P. Jr. De Marco. 2018. "Vulnerability of turtles to deforestation in the Brazilian Amazon: Indicating priority areas for conservation". *Biological Conservation* 226: 300-310. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.08.009.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2015. "Coping with climate change – the roles of genetic resources for food and agriculture". Rome. <http://www.fao.org/3/a-i3866e.pdf>.
- GAGNON, C. y D. Berteaux. 2009. "Integrating traditional ecological knowledge and ecological science: a question of scale". *Ecology and Society* 14, n.º 2.
- GIBBONS, J. W. *et al.* 2000. "The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change". *BioScience* 50, n.º 8: 653-666.

- GÓMEZ-AÍZA, L., L. Álvarez-Balderas y M. A. C. Lombardero-Goldaracena. 2014. *Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre: análisis a nivel municipal considerando la dinámica de la vegetación y la vulnerabilidad ante el cambio climático*. D. F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- GONZÁLEZ-PORTER, G., J. Maldonado, O. Flores-Villela, R. Vogt, A. Janke, R. Fleischer y F. Hailer. 2013. "Cryptic Population Structuring and the Role of the Isthmus of Tehuantepec as a Gene Flow Barrier in the Critically Endangered Central American River Turtle". *PLoS ONE* 8 n.º 9: e71668. DOI: 10.1371/journal.pone.0071668.
- HERNÁNDEZ-TARIO, E. 2013. "Seroprevalencia de *Leptospira interrogans* en *Dermatemys mawii* y su estacionalidad en tres Centros para la Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (UMA) en el estado de Tabasco". Tesis de maestría. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- IPPI, S. y V. Flores. 2001. "Las tortugas neotropicales y sus áreas de endemismo". *Acta Zoológica Mexicana*, n.º 84: 49-63.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007. "Summary for Policymakers". En *Climate Change 2007: impacts, adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. Linden y C. E. Hanson, 19-37. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. 2013. "Summary for Policymakers". En *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por T. F. Stocker, Qin D., G.-K. Plattner, M. M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley, 3-185. Cambridge/Nueva York: Cambridge University Press.

- JIANG, C., K. S. Shaw, C. R. Upperman, D. Blythe, C. Mitchell, R. Murtugudde, A. R. Sapkota y A. Sapkota. 2015. "Climate change, extreme events and increased risk of salmonellosis in Maryland, USA: Evidence for coastal vulnerability". *Environment international* 83: 58-62.
- MAWDSLEY, J. R., R. O'malley y D. S. Ojima. 2009. "Una revisión de las estrategias de adaptación al cambio climático para el manejo de la vida silvestre y la conservación de la biodiversidad". *Biología de la conservación* 23, n.º 5: 1080-1089.
- MÉNDEZ-SÁNCHEZ, C. y C. Hernández-Méndez. 2016. "Contingencia por fenómenos hidrometeorológicos en UMAS: caso Tabasco, México". *Memorias del curso de manejo de unidades de producción de tortugas dulceacuicolas*. Asociación de Unidades de manejo de Veracruz. Tres Valles, Veracruz, México.
- MITCHELL, N., N. Rodríguez, G. Kuchling, S. Arnall y M. Kearne. 2016. "Reptile embryos and climate change: Modelling limits of viability to inform translocation decisions". *Biological Conservation* 204: 134-147.
- NÚÑEZ G., J. C., R. Ramos, E. A. Barba M., T. Espinoza y L. M. Gama C. 2016. "Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México". *Investigaciones Geográficas*, n.º 91: 70-85.
- ORTIZ-YUSTY, C., A. Restrepo y V. P. Páez. 2014. "Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global". *Acta Biológica Colombiana* 19, n.º 3: 471-481.
- RANGEL-MENDOZA, J. A. y M. Weber. 2015. "Evaluación del estado físico de la tortuga blanca, *Dermatemys mawii*, bajo condiciones de cautiverio en Tabasco, México". *Agrociencia* 49, n.º 5: 499-511.
- REFSNIDER, J. M. y F. J. Janzen. 2016. "Temperature-Dependent Sex Determination under Rapid Anthropogenic Environmental Change: Evolution at a Turtle's Pace?". *Journal of Heredity* 107, n.º 1: 61-70.

- RIVERA-HERNÁNDEZ, B., L. A. Aceves-Navarro, A. Arrieta-Rivera, J. F. Juárez-López, J. M. Méndez-Adorno y C. Ramos-Álvarez. 2016. “Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el período 1961-2010”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Agricolas/article/view/435>.
- ROBLES-DE BENITO, R. 2009. “Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el Corredor Biológico Mesoamericano México”. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. [http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/DOC/31\\_105.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/DOC/31_105.pdf).
- SEMLITSCH, R. y J. Bodie. 2003. “Biological criteria for buffer zones around wetlands and ribereñan habitats for amphibians and reptiles”. *Conservation Biology* 5, n.º 17: 1219-1228.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 2015. “Reglas de operación”. <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/SAGARPA%20REGLAS%20DE%20OPERACION%202015%20ADMON.%202015-2018.pdf>.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA, RECURSOS NATURALES Y PROTECCIÓN AMBIENTAL (Sernapam). 2011. “Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Tabasco”. *Proyecto Integral “Estrategia Estatal de Cambio Climático”*. Tabasco, México.
- SOL-SÁNCHEZ, Á., C. E. Zenteno-Ruiz y E. Torres. 2002. “Modelo para la restauración ecológica de áreas alteradas”. *División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT. Kuxulkab. Revista de Divulgación. Costa Rica* 7, n.º 14: 83-88.
- TODD, B. D., J. D. Willson y J. W. Gibbons. 2010. “The global status of reptiles and causes of their decline”. En *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles*. 2a ed, editado por D. W. Sparling, C. A. Bishop y S. Krest, 47-67. Boca Raton: CRC Press.
- VALLADARES, L. y L. Olivé. 2015. “¿Qué son los conocimientos tradicionales? Apuntes epistemológicos para la interculturalidad”. *Cultura y representaciones sociales* 10, n.º 19: 61-101.

- WILLIS-NORTON, E., E. L. Hazen, S. Fossette, G. Shillinger, R. R. Rykaczewski, D. G. Foley, J. P. Dunne y S. J. Bograd. 2015. "Climate change impacts on leatherback turtle pelagic habitat in the Southeast Pacific". *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 113: 260-267.
- ZAPATA-HERNÁNDEZ, C. 2012. "Caracterización molecular de cuatro poblaciones de *Dermatemys mawii* en cautiverio en el Estado de Tabasco". Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- ZENTENO-RUIZ, C. E., L. F. Zamora-Cornelio, S. Cabrera-Pérez y D. M. Carrillo-Torres. 2004. "Captura y uso de fuego en el aprovechamiento de las tortugas dulceacuícolas en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla". En *Etnopaisaje, trabajo comunitario, manejo y conservación de recursos naturales*, editado por L. Gama, S. Ochoa-Gaona y C. Chiappy, 106-116. Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- ZENTENO-RUIZ, C. E. y L. D. Olivera-Gómez. 2014. "Tortugas dulceacuícolas y el manatí ante los escenarios del cambio climático en el sur del Golfo de México". *Kuxulkab'* 18, n.º 34: 51-58.
- ZENTENO-RUIZ, C. E., J. A. Rangel-Mendoza, G. I. Hernández-Melchor, J. A. Hernández-Velázquez, D. I. Triana Ramírez y A. D. Anacleto-Rojas. 2016. "Acciones para la conservación de la herpetofauna en Pantanos de Centla". *Reporte de proyecto Programa de Conservación de Especies en Riesgo (Procer)*. Tabasco, México.



## 2. Variabilidad climática en las cuencas transfronterizas del sureste mexicano: un acercamiento a la comprensión de los efectos climáticos

Mercedes Andrade-Velázquez  
y Ojilve Ramón Medrano-Pérez

### Introducción

México es uno de los países con mayor vulnerabilidad ante el cambio climático debido a su geografía, condiciones socioeconómicas, grado de susceptibilidad y por las limitaciones en las capacidades para enfrentar sus impactos (Molina, Sarukhán y Carabias 2017; INECC 2015). Con frecuencia, al encontrarse situado en la franja intertropical, por sus cadenas montañosas y por estar entre los dos océanos más grandes del mundo, se ve expuesto a diversos fenómenos meteorológicos. Con esto presente, se debe considerar que la variabilidad climática está asociada a eventos adversos, como inundaciones, sequías o tormentas tropicales (Landa, Magaña y Neri 2008). Estos eventos pueden causar pérdidas económicas en actividades como la agricultura, el suministro de agua, la generación de energía y la pesca (Magaña *et al.* 2001), además de que el mantenimiento de los ecosistemas puede verse afectado. Asimismo, pérdidas humanas y otros costos sociales, ecológicos y políticos están asociados a estos eventos naturales. Ahora bien,

en México, se estima que 15% del territorio nacional, 68% de la población y 71% del PIB se encuentran altamente expuesto a los riesgos climático (Molina, Sarukhán y Carabias 2017).

En esa línea, entre 1970 y 2013 de los 22 ciclones de categoría 3 o más (escala Saffir-Simpson)<sup>1</sup> que afectaron las costas mexicanas, diez ocurrieron en los últimos doce años. En cuanto a la sequía, se han dado eventos significativos entre los periodos siguientes: 2000 y 2003, en 2006, entre 2007 y 2008, en 2009 y entre 2010 y 2012. En este último periodo, 2011, la gravedad de la sequía afectó 90% del territorio nacional. Por otro lado, también se ha elevado el nivel del mar en las costas del país entre 1950 y 2000; a este respecto, destaca Ciudad Madero, Tamaulipas, con 9.16 milímetros por año (mm/año) y Guaymas, en Sonora, con 4.23 mm/año. Al mismo tiempo, estos eventos han estado acompañados de pérdidas humanas, económicas y sociales. Se estima que entre 2001 y 2013 la cantidad de personas afectadas por eventos hidrometeorológicos sumaron alrededor de 2.5 millones y las pérdidas económicas fueron del orden de US\$17 949 millones. Estas cifras se ven condicionadas, entre otras cosas, por los niveles de pobreza y la degradación ambiental que sufren las comunidades y municipios del país (INECC 2015).

De hecho, 319 municipios, que representan 13% del total del país, registran la mayor vulnerabilidad a impactos por el cambio climático, y 15.4% de ellos se concentran en los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche y Quintana Roo en la frontera sur de México (INECC 2015, PECC 2013-2018). Lo anterior es motivo de preocupación, no sólo porque esta zona posee una gran diversidad biológica, además de que cuenta con riqueza hídrica y cultural de importancia global, sino también porque al cambio climático se le reconoce como un factor condicionante a la estabilidad de los ecosistemas y de las poblaciones en estos cuatro

1 La escala Saffir-Simpson se define por las velocidades de los vientos máximos de los ciclones tropicales; la más baja para los huracanes es la categoría 1 con vientos máximos de 119-153 km/h y, la más alta, la categoría 5 con vientos máximos mayores a los 252 km/h.

estados y en los países centroamericanos (Bello, Ortiz y Samaniego, 2018). Más aún, se ha reconocido que en esta región no se dispone de políticas de adaptación y mitigación frente a los efectos del cambio climático (Bello, Ortiz y Samaniego 2014), a pesar de considerarse a los fenómenos hidrometeorológicos (inundaciones) como una de las problemáticas relevantes en las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice (García y Kauffer 2011, Kauffer 2006).

En cuanto a Guatemala y Belice, ambos países presentan riesgos climáticos y vulnerabilidad socioeconómica, lo que se traduce en pérdidas significativas (Cepal *et al.* 2018, World Bank 2018, Ruano y Milan 2014, Dilley *et al.* 2005). En el caso de Guatemala, durante el periodo 1931-2015 se han registrado 61 eventos hidrometeorológicos extremos, tales como tormentas e inundaciones (Cepal *et al.* 2018). Tan sólo entre 1972 y 2010 se han producido 24 782 pérdidas humanas y un costo económico de US\$22 334 millones por causa de los fenómenos naturales (Bello, Ortiz y Samaniego 2014). En cuanto a Belice, por la dependencia climática de su estructura económica, actividades como la agricultura y el turismo se ven sensiblemente afectadas (Ordaz *et al.* 2010). Así, entre 1972 y 2010 se han producido 26 pérdidas humanas y se ha tenido un costo económico de US\$543 millones por causa de los fenómenos naturales ocurridos en ese periodo (Bello, Ortiz y Samaniego 2014). Igualmente, World Bank (2018) estima que entre 2000 y 2016 las pérdidas directas e indirectas por fenómenos naturales alcanzaron los US\$737 millones, sin incluir la pérdida de ingresos por bienes de capital.

Ante tal panorama de vulnerabilidad de los tres países (México, Guatemala y Belice) las cuencas transfronterizas, que comparten –Suchiate, Coatán, Grijalva, Usumacinta, Candelaria y Hondo– pueden jugar un papel relevante ante efectos del cambio climático.<sup>2</sup> Por lo cual, el estudio de los patrones climáticos en estas

2 Cabe señalar que, según Cepal *et al.* (2018), Guatemala no sólo es el país de Centroamérica con más cuencas transfronterizas, 13 en total (tres con

cuencas resulta esencial para la toma de decisiones y la generación de políticas estatales y regionales sobre la adaptación y resiliencia climática en esta zona, y de Mesoamérica en general. Hernández y Andrade (2021) confirman sus resultados con la clasificación de Köppen. No obstante, contar con datos históricos e información climática completa y de calidad para las regiones ubicadas en el trópico es uno de los retos a afrontar, pues la disponibilidad de datos sobre los cambios climatológicos es considerada escasa y mal distribuida en espacio y tiempo (Duncan-Golicher y Morales, 2005).

En este contexto, el presente estudio se concentra, en primer lugar, en determinar los cambios en las variables climáticas de referencia –precipitación y temperatura– e identificar las zonas en las cuencas transfronterizas del sureste mexicano con mayor exposición temporal a los cambios del clima en las últimas décadas entre el periodo de 1960 a 2016. En segundo lugar, en identificar y establecer la incidencia que los distintos controladores climáticos poseen en el comportamiento del clima en la zona. De tal modo que, siendo esta zona de alto valor hidro ecológico y cultural y, a su vez, con alta vulnerabilidad socioeconómica, se hace necesario la identificación a esta escala de las zonas susceptibles a los mayores cambios en la precipitación y la temperatura. En tal sentido, el entendimiento y comprensión de las variaciones y el cambio climático a escalas menores de las estimaciones globales del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) puede ser una valiosa herramienta para las políticas de mitigación y adaptación a los efectos adversos de los fenómenos naturales.

---

México, una con México y Belice, cinco con Belice, dos con Honduras, una con El Salvador, y una con Honduras y El Salvador), sino también que registra la segunda mayor área de cuenca transfronteriza como porcentaje del territorio nacional (64.6%). Ante esta condición, y la incertidumbre e impactos climáticos que se prevén (IPCC 2013), Guatemala esta llamada a fortalecer la gestión compartida del recurso y dotarla de mayor resiliencia y sustentabilidad, de la mano con los países vecinos.

Para responder a este objetivo, el presente trabajo muestra, en primer lugar, una descripción de la zona de estudio; en segundo, se explican las metodologías usadas para realizar el análisis histórico de la precipitación y la temperatura; en tercer lugar, se presentan los resultados, y, finalmente, la discusión y conclusión. Sobre esta base se concluye que el estudio realizado puede favorecer no sólo la investigación en estos temas, sino también la toma de decisiones de los actores en torno al riesgo y vulnerabilidad que presentan las zonas identificadas en este texto.

### **Descripción de la zona de estudio**

La frontera sur de México se encuentra configurada por los límites fronterizos de Guatemala y Belice. México posee una superficie de 1 972 550 km<sup>2</sup>, mientras que Guatemala alcanza 108 899 km<sup>2</sup> y Belice 22 965 km<sup>2</sup>. Administrativamente, México se divide en 32 estados federativos y 2 457 municipios, mientras Guatemala está dividido en 22 departamentos y 338 municipios, y Belice en 6 distritos. En cuanto a la población, al 2018, según el Consejo Nacional de Población (Conapo s.f.), México tiene una población 125.3 millones de habitantes. En el caso de Guatemala se estima en 17 millones de habitantes, según el Instituto Nacional de Estadística (INE s.f.). Y, en cuanto a Belice, según el Instituto de Estadística de Belice (s.f.), la población se sitúa en 398 050 habitantes (a julio 2018). En esta zona se tiene un clima tropical y subtropical, y se registran precipitaciones que superan en ocasiones los dos mil mm/año (Conagua 2016).

En este contexto, en la frontera sur de México se tienen seis cuencas hidrográficas compartidas (Figura 1), de las cuales cuatro se comparten entre México y Guatemala (Suchiate, Coatán, Grijalva y Candelaria), y dos entre México, Guatemala y Belice (Usumacinta y Hondo). En general, estas seis cuencas abarcan una extensión total aproximada de 167 725 km<sup>2</sup>, donde se ubican unas 27 198 localidades, una población de 7.8 millones de habitantes (46.35 hab/km<sup>2</sup>) y 47.80% de bosques y selvas del total

de superficie de la cuenca (García y Kauffer 2011). La cuenca del Usumacinta es la de mayor extensión y mayor desarrollo hidrológico. Asimismo, en estas cuencas nacen importantes ríos como el Usumacinta, Grijalva, San Pedro, Río Candelaria y Río Hondo, entre otros; y, a su vez, por donde escurre aproximadamente 40% del agua superficial de México. De hecho, el río Usumacinta presenta el caudal más importante de toda Mesoamérica, estimado en 700 m<sup>3</sup>/segundos (March y Castro 2010).<sup>3</sup>

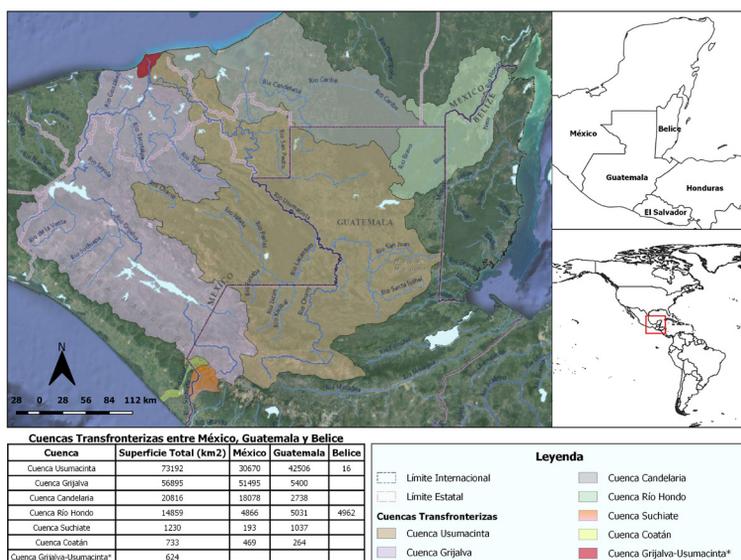


Figura 1. Cuenas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice. Fuente: elaboración propia basada en Organismo de Cuenca Frontera Sur (2018) y García y Kauffer (2011).

## Metodología

La metodología para esta investigación ha sido doble. Por un lado, el aspecto cualitativo ha estado apoyado en la más actualizada

3 La Cuenca Grijalva-Usumacinta se forma de la unión de los ríos que llevan estos nombres, antes de desembocar en el Golfo de México, más no es una cuenca transfronteriza compartida. Las fronteras trazadas y la delimitación de las cuencas transfronterizas no son necesariamente las reconocidas oficialmente.

información recogida en documentos de trabajo, bases de datos, informes, artículos, e información institucional nacional e internacional relacionada al tema tratado. En cuanto al análisis cuantitativo, y a fin de determinar los cambios en la precipitación y la temperatura, se ha empleado el proceso descrito a continuación.

◇ **Identificación de zonas con mayores cambios históricos de precipitación y temperatura de 1960 a 2016**

Se empleó el comportamiento climatológico de las variables de precipitación y temperatura en forma estacional a lo largo del periodo de 1960 a 2016, con anomalías respecto a 1960-1990 de manera espacial. Esto nos permite identificar los trimestres más lluviosos y secos a lo largo del periodo de estudio, así como las zonas donde se registraron las anomalías más grandes, tanto positiva como negativamente a lo largo del tiempo. Al contar con la información de los trimestres más lluviosos y secos, procedemos a determinar las zonas con las anomalías de temperatura más grandes, negativa y positivamente. Este proceso sigue el principio de los indicadores climáticos definidos por Rivas (2002) como:

- Precipitación.
- Precipitación del trimestre más lluvioso (mm/día) =  $Prec1 + Prec2 + Prec3$   
Precipitación del trimestre más seco (mm/día) =  $Prec1 + Prec2 + Prec3$
- Temperatura.
- Temperatura promedio del trimestre más lluvioso (°C) y temperatura promedio del trimestre más seco (°C)
- Determinación de tendencias para puntos de las zonas de mayores impactos por cambios del clima

Para el análisis de tendencias, se aplicó el método de regresión lineal a las anomalías de cada variable climática (temperatura y precipitación). El cual sigue la siguiente ecuación:

$$Y = b(0) + B(1) * X \dots (1)$$

Donde **Y** corresponde a la variable climática (t o Pr) y **X** al tiempo (t).

También se determinó el valor mínimo y máximo de las anomalías de cada variable a lo largo del periodo de estudio.

## Resultados

### ◇ *A) Análisis climático de la precipitación*

Se identificaron los trimestres más lluviosos en la región sureste de México y su configuración fronteriza con países de Centroamérica (Figura 2). Estos trimestres corresponden a los meses julio-agosto-septiembre y octubre-noviembre-diciembre, principalmente, característicos de la región y cuya precipitación se debe sobre todo a efectos de ondas tropicales y frentes fríos. Los registros muestran que los años más lluviosos se centran en la década de 1960 a 1970, y en los años 2000, 2010 y 2013. Se sugiere que estos pueden corresponder a efectos del El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) y Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) (Méndez *et al.* 2011; Olivera-Villarreal, Andrade-Velázquez y Medrano-Pérez en prensa); y donde las anomalías de la precipitación son mayores a 2.5 mm/d durante el periodo de 1960-2016 en los límites fronterizos. Esta región es lluviosa y ahí se encuentra el afluente principal del río Usumacinta.

Anomalía Pre 1960-2016 Estacional (mm/d)

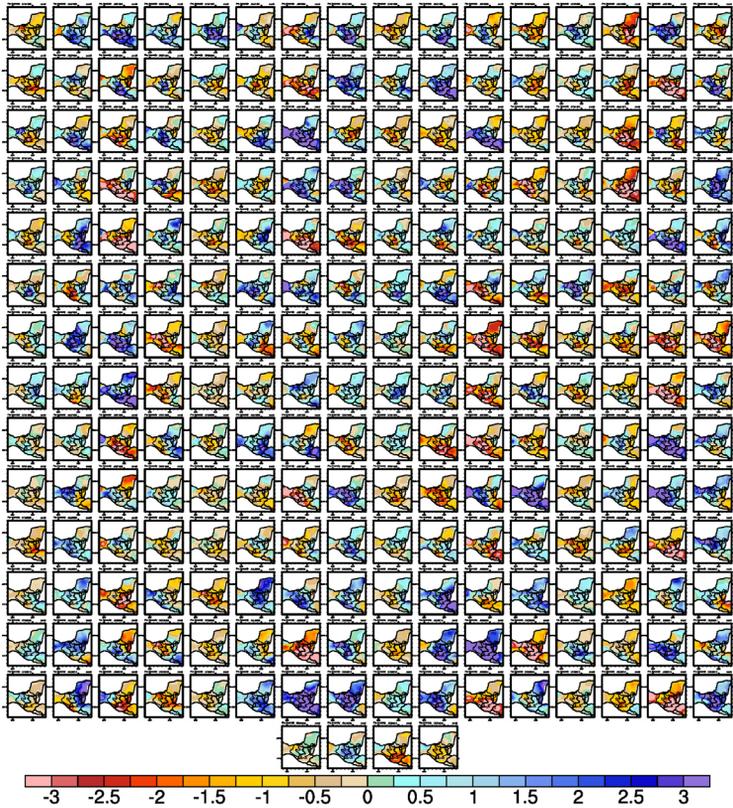


Figura 2. Evolución histórica de las anomalías estacionales de la precipitación a lo largo de 1960-2016. Fuente: elaboración propia.

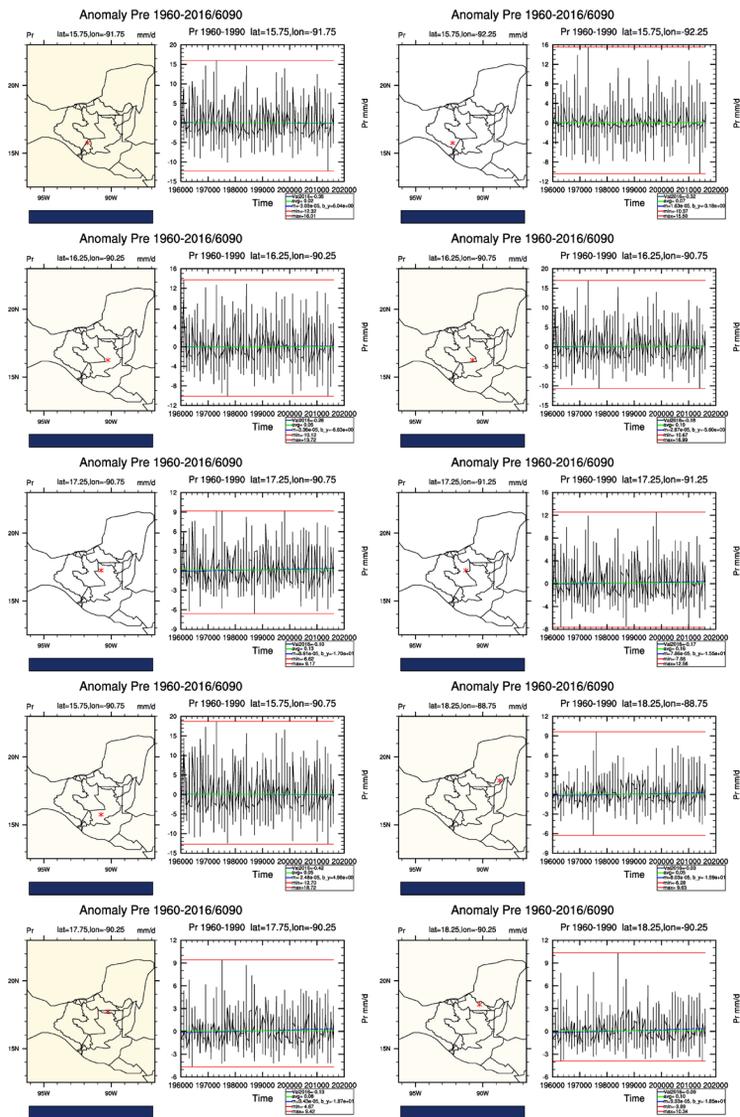


Figura 3. Tendencias de la precipitación en los límites fronterizos (puntos en Guatemala y Belice: izquierda; y puntos en México: derecha). Fuente: elaboración propia.

Asimismo, en la Figura 3 podemos ver las tendencias de las anomalías de precipitación en las zonas fronterizas con mayores cambios de ésta, que muestran ligeros incrementos a lo largo del periodo. Lo anterior indica que, climáticamente, la precipitación está aumentando en (15.75, -92.2), (16.25, -90.25), (16.25, -90.75), (17.25, -90.75), (17.25, -91.25), (17.75, -89.25), (17.75, -90.25), (18.25, -88.75), (18.25, -90.25) y disminuyendo en (15.75, -90.75) y (15.75, -91.75). Se hace notar que las anomalías en el 2016 para todos los puntos son negativas y, de continuar así en los siguientes años, se espera que los impactos en las zonas sean severos en disponibilidad del recurso.

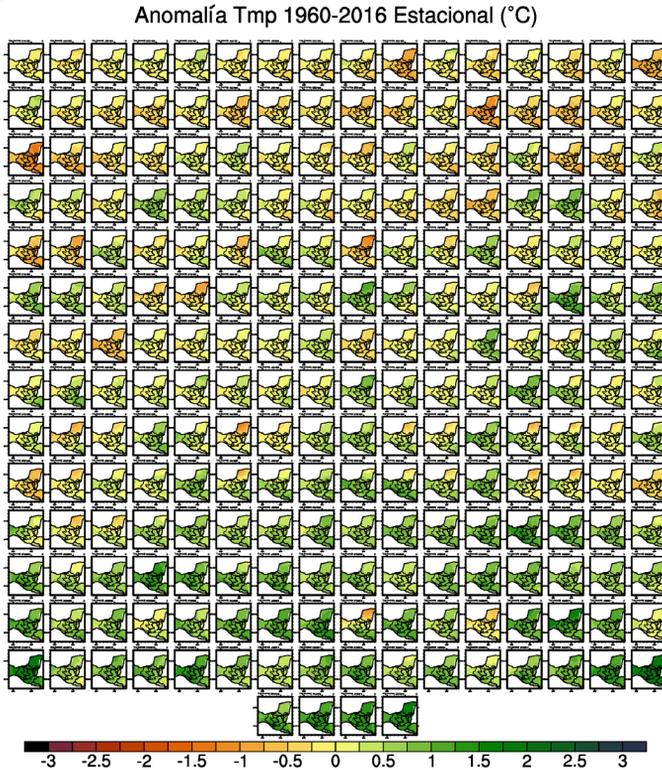


Figura 4. Evolución histórica de las anomalías estacionales de la temperatura a lo largo de 1960-2016. Fuente: elaboración propia.

### ◇ **B) Análisis climático de la temperatura**

Podemos observar que la región muestra calentamiento en las últimas décadas (Figura 4) y, a partir de mediados de la década de 1990, este incremento es notorio hasta 2016. Este resultado está en correspondencia con los reportes del calentamiento global (IPCC 2013). Las anomalías de temperatura arrojan valores mayores de 0.5 °C y de 1.5 °C. Las tendencias de la temperatura para las mismas zonas fronterizas identificadas en la precipitación son positivas, incluso para el 2016.

### **Discusión**

Es claro que los cambios en las variables climáticas repercuten tanto en el ambiente como en las poblaciones. Sin embargo, para determinar esos cambios, se requiere identificar las zonas donde históricamente se han presentado o no. Este estudio se enfocó en aquéllas localizadas en los límites de cuencas fronterizas del sureste del país, de particular interés hídrico, dada su importancia como recurso vital para la humanidad y ecosistemas (así ha sido indicado también en los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ONU 2018]). Se encontró que la precipitación en los puntos de interés tiene tendencia positiva, es decir, de incremento, salvo en el afluente del río Usumacinta (río Chixoy, en su contraparte en Guatemala), donde es negativa. Esto es un resultado importante para la región, no sólo para esta región hidrológica (Grijalva-Usumacinta), sino también para México, ya que ahí el escurrimiento superficial representa 30% total del país (González-Villela y Montero-Martínez 2017).

El análisis climático histórico de los cambios en temperatura y precipitación proporciona información sobre los posibles factores que influyen en la variabilidad de estas variables, así como su correspondencia, tal como muestran los presentes resultados de temperatura, con los reportes internacionales globales (IPCC 2013). Los resultados muestran que la temperatura ha sufrido incremento en las últimas décadas a lo largo de todos los puntos fronterizos. Se conoce que en esta zona existe una gran diversi-

dad de cobertura vegetal que podría amortiguar los efectos de calentamiento, sin embargo, también esta zona se encuentra afectada por grandes procesos de deforestación,<sup>4</sup> un factor adicional que contribuye al calentamiento global por emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, la precipitación sigue más la influencia de grandes moduladores como son el ENSO y la PDO (Méndez *et al.* 2011). Estos moduladores presentan correspondencia históricamente con los cambios registrados no sólo en la zona fronteriza, sino también en toda la región (Andrade-Velázquez 2017). Los periodos de exceso de lluvia corresponden a las fases del ENSO fría y PDO negativa. Mientras que los eventos de déficit de lluvia se asocian a la fase ENSO caliente y PDO positiva, de acuerdo con la literatura (Méndez y Magaña 2010). En el caso de Guatemala, Ruano y Milan (2014) reportan que el balance hídrico es influenciado también por el ENSO. Igualmente, Irábida (2018) advierte del impacto de ENSO en la disponibilidad de agua de Latinoamérica.

En este marco, no sólo el cambio climático que se registra con un calentamiento en la región (como ha sido reportado a nivel global [IPCC 2013]) representa la única presión que afecta al ciclo hidrológico y al recurso agua en la región estudiada. También la deforestación, cambios en el uso y manejo de la tierra, explotación petrolífera, etcétera, lo son (González-Villela y Montero-Martínez 2017). En tal sentido, derivado de los resultados obtenidos, los impactos en la hidrología y la disponibilidad del recurso agua en esta región pueden tener implicaciones importantes al ser reconocida la precipitación como el principal impulsor de la variabilidad en el balance hídrico en el espacio tiempo (Mujere y Eslamian 2014).

Esto es así por la tendencia positiva/negativa que han mostrado las precipitaciones en los puntos seleccionados en el área

4 Por ejemplo, según la plataforma Global Forest Watch (s.f.), tan sólo entre 2000 y 2017 en las cuencas transfronterizas Grijalva-Usumacinta se perdieron alrededor de 10.8 Mha (Megahectáreas) de un total de 145 Gha (Gigahectáreas) que configuran este territorio compartido. Ver [http:// www.globalforestwatch.org/map](http://www.globalforestwatch.org/map).

estudiada y las zonas contiguas. De igual forma, en cuanto al aumento de las temperaturas en las cuencas transfronterizas, éste trae como consecuencia un aumento en la evaporación que puede afectar actividades como el suministro de agua, la generación hidroeléctrica y el riego agrícola, y el mantenimiento de los ecosistemas, entre otras. Por ejemplo, en el río Chixoy (Guatemala), podemos ver que hay tendencia positiva de la temperatura y tendencia negativa de la precipitación; de continuar así, como ha reportado Cepal *et al.* (2018), los impactos económicos en la generación hidroeléctrica estarían entre US\$67 y US\$597 millones de dólares. Además, estos efectos podrían resentirse en el resto de la cuenca del río Usumacinta aguas abajo, al ser el río Chixoy un afluente de éste.

En esta línea, con el aumento o la disminución de la temperatura y la precipitación, respectivamente, puede aumentar el riesgo de que ocurran inundaciones y sequías con sus consecuentes efectos en la producción de alimentos. Así, si bien los resultados de los modelos climáticos que predicen un aumento en los eventos extremos en las próximas décadas no son concluyentes, de acuerdo con Valdés-Manzanilla (2018), en el caso del sureste mexicano los efectos climáticos parecen ir en aumento. En ese sentido, esta región registra la mayor vulnerabilidad a los impactos por el cambio climático, sobre todo inundaciones. Un claro ejemplo de ello son los estados de Chiapas y Tabasco, donde se tienen los mayores registros pluviométricos e inundaciones frecuentes. Tan sólo en 2007, por causa de la inundación en el estado de Tabasco, se registraron pérdidas del orden de los US\$3 mil millones, resultando afectados 80% del área estatal y alrededor de un millón de personas quienes se quedaron sin hogar (Valdés-Manzanilla, 2016).

Sin embargo, esta situación de vulnerabilidad no es exclusiva del sureste mexicano. La problemática de las inundaciones es extensible en todas las cuencas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice (García y Kauffer 2011; Kauffer 2006). En Guatemala, la mayoría de los eventos extremos que han afec-

tado a este país son de origen climático. Se estima que 59% de los eventos registrados entre 1900 y 2015 fueron de origen climático (tormentas y huracanes, deslizamientos de tierra, inundaciones, sequías y temperaturas extremas). Ello ascendió a un total de pérdidas económicas por este concepto de US\$4 421 millones de dólares, correspondiente a 72% del total de daños registrados para el periodo (Cepal *et al.* 2018). Asimismo, junto a ello, se observó el drama social de las familias afectadas (Cepal *et al.* 2018). Para el caso de Belice estas cifras son igualmente dramáticas. Con frecuencia el país se ve afectado por distintos tipos de desastres como huracanes, tormentas tropicales, inundaciones y sequías, compartiendo con México y Guatemala la susceptibilidad a la ocurrencia de estos eventos. De hecho, las inundaciones representan la principal causa de daño en el sector agrícola, y a éstas le siguen el turismo y la vivienda (World Bank 2018).

En esta zona transfronteriza no sólo se comparten riqueza natural y cultural, sino también los riesgos climáticos, vulnerabilidad socioeconómica y alimentaria, y pérdidas asociadas a los fenómenos hidrometeorológicos y climáticos. Frente a esa perspectiva, teniendo en cuenta la naturaleza interconectada de los riesgos asociados al cambio climático (Mora *et al.* 2018) y la relación directa entre la reducción de la desigualdad y el cambio climático (Irábida 2018), el llamado a la acción en las regiones con alta vulnerabilidad es impostergable. Así, y derivado de los resultados de este estudio, los tomadores de decisiones en todos los órdenes de gobierno y la sociedad deben trabajar de manera conjunta en el fortalecimiento de las capacidades para la mitigación y adaptación a los impactos de la variabilidad y el cambio climático en la región.

## Conclusiones

El presente estudio muestra el comportamiento histórico de las variables climáticas de temperatura y precipitación entre el periodo 1960 a 2016 en las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice. Por un lado, el comportamiento de la temperatura

es homogéneo en ambos lados de la frontera, es decir: en toda la región se han registrado incrementos, confirmando el calentamiento reportado a nivel global.

Este resultado es relevante, dado que el estudio se realiza de manera local. Por otro lado, la precipitación muestra tendencias positivas y negativas, cuyos impactos se reflejan en las actividades productivas y servicios locales. Además, el ENSO y la PDO, fenómenos globales y regionales que intensifican los efectos del cambio climático, son también moduladores que rigen el comportamiento de estas variables climáticas, en especial de la precipitación. Tales efectos agrupan una serie de riesgos en distintos ámbitos, a saber: salud, producción de alimentos, disponibilidad de agua, seguridad, economía e infraestructura, entre otras facetas. En tal sentido, aunque quedan por delante desafíos con respecto a la comprensión de la variabilidad y el cambio climático en la región, el presente estudio es un punto de partida para continuar profundizando a esta escala sobre estos temas.

Desde esta perspectiva, se sugiere impulsar la investigación sobre los impactos en las actividades productivas y en las hidroeléctricas, con la finalidad de diseñar políticas, programas y esquemas institucionales que respondan a los impactos regionales de la variabilidad y el cambio climático. Por lo cual, la presente investigación se enmarca como una contribución a los temas de variabilidad y de cambio climático para que tomadores de decisiones los incorporen en los temas y preocupaciones político-institucionales (local, estatal y federal) y sociales, a fin de trabajar de manera conjunta en la construcción de un futuro menos incierto.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C. (CCGS) por las facilidades durante la realización de esta investigación. Además, expresan su agradecimiento a los revisores anónimos por sus comentarios y recomendaciones en la mejora de esta investigación. Los autores también agradecen al

programa Cátedra-Conacyt. Asimismo, se agradece a los proyectos Cátedras-CCGS #945 “Vulnerabilidad, socioambiental y medidas de adaptación al cambio climático en el sureste mexicano” y #963 “Hacia un manejo sustentable del agua en el sureste de México y áreas adyacentes de Centroamérica”.

## Referencias

- ANDRADE-VELÁZQUEZ, Mercedes. 2017. “Visión climática de la precipitación en la cuenca del Río Usumacinta”. En *La cuenca del Río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático*, coordinado por Denise Soares y Antonino García García, 57-75. México: IMTA.
- BELLO, O., L. Ortiz y J. L. Samaniego. 2014. *La estimación de los efectos de los desastres en América Latina, 1972-2010*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- COMISIÓN DE ASUNTOS FRONTERIZOS SUR (CAFS). 2016. “Programa de trabajo 2016”. México: Senado de la República. [www.senado.gob.mx/comisiones/asuntos\\_fronterizos\\_sur/programa.php](http://www.senado.gob.mx/comisiones/asuntos_fronterizos_sur/programa.php).
- \_\_\_\_\_. 2018. *Programa de Trabajo. Tercer Año de Ejercicio, LXIII Legislatura*. Ciudad de México: Senado de la Republica. Acceso el 10 de septiembre de 2018. [http://www.senado.gob.mx/comisiones/asuntos\\_fronterizos\\_sur/programa.php](http://www.senado.gob.mx/comisiones/asuntos_fronterizos_sur/programa.php).
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (Cepal), Fondo Nórdico de Desarrollo (NDF), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Guatemala (MARN). 2018. *La economía del cambio climático en Guatemala-Documento técnico 2018*. Ciudad de México.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (Conagua). 2016. *Atlas del Agua en México 2016*. Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Acceso el 28 de noviembre de 2018. [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM\\_2016.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM_2016.pdf).

- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (Conapo). s.f. “Consejo Nacional de Población”. <https://www.gob.mx/conapo>.
- DILLEY, Maxx, Robert S. Chen, Uwe Deichmann, Arthur L. Lerner-Lam y Margaret Arnold. 2005. *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/7376>.
- DUNCAN-GOLICHER, John y Juan Morales. 2005. “Correlations between precipitation patterns in the state of Chiapas and the El Niño Sea surface temperature index”. En *El agua en la frontera México-Guatemala-Belice*, editado por Edith F. Kauffer, 457-475. México: El Colegio de la Frontera Sur.
- GARCÍA GARCÍA, Antonino y Edith F. Kauffer Michel. 2011. “Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: Un acercamiento a su delimitación y problemática general”. *Frontera Norte* 23. Acceso el 2 de septiembre de 2018. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-ISSN 0187-7372](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-ISSN 0187-7372).
- GLOBAL FOREST WATCH. s.f. “Interactive World Forest Map & Tree Cover Change Data”. Acceso el 20 de noviembre de 2018. <http://www.globalforestwatch.org/map>.
- GONZÁLEZ-VILLELA, Rebeca y Martín José Montero-Martínez. 2017. “Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en el caudal del río Usumacinta, México”. En *La cuenca del Río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático*, coordinado por Denise Soares y Antonino García García, 149-180. México: IMTA.
- HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, F. y M. Andrade Velázquez. 2021. “Análisis del registro de temperatura local en el Sureste de México”. *Kuxulkab'* 27, n.º 57: 05-14. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n57.3501>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC). 2015. *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Acceso el 10 de octubre de 2018. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/compromisos-de-mitigacion-y-adaptacion-ante-el-cambio-climatico-para-el-periodo-2020-2030>.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS DE GUATEMALA (INE). s.f. “Instituto Nacional de Estadísticas de Guatemala”. <https://ine.gob.gt/>.
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICAS DE BELICE (*Statistical Institute of Belize*). s.f. “Statistical Institute of Belize”. <http://sib.org.bz/>.
- IRABIDA (Informe La Rábida). 2018. “Cambio climático y desarrollo sostenible en Iberoamérica”. Informe La Rábida, Huelva. Observatorio de cambio climático y desarrollo sostenible de la Rábida, Huelva. Secretaria General Iberoamérica (SEGIB). <http://diph.es/irabida>.
- KAUFFER, Edith. 2006. “El agua en la frontera sur de México: Una aproximación a la problemática de las cuencas compartidas con Guatemala y Belice”. *Boletín del archivo histórico del agua* 11, n.º 33: 25-29.
- LANDA, Rosalva, Víctor Magaña y Carolina Neri. 2008. *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Acceso el 10 de septiembre de 2018. <https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2017/12/agua-y-clima.pdf>.
- MAGAÑA, Víctor, Jorge L. Vázquez, Joel B. Pérez y José L. Pérez. 2001. “El fenómeno el niño/oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México”. En *Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998*, compilado por Elva Escobar Briones, Marcial Bonilla, Antonio Badán, Margarita Caballero y Alain Winckell, 17-24. México: Conacyt. Acceso el 10 de noviembre de 2018. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers16-12/010065911.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-12/010065911.pdf).
- MARCH MIFSUT, Ignacio y Marco Castro. 2010. “La Cuenca del Río Usumacinta: perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable”. En *Las Cuencas Hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*, coordinado por Helena Cotler Ávalos, 193-197. México: Pluralia Ediciones e Impresiones.

- MÉNDEZ GONZÁLEZ, J., A. Ramírez Leyva, E. Cornejo Oviedo, A. Zárate Lupercio, y T. Cavazos Pérez. 2011. “Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México”. *Investigaciones Geográficas* 0, n.º 73. Acceso el 03 de febrero de 2021. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112010000300005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112010000300005&lng=es&tlng=es).
- MÉNDEZ, M. y V. Magaña. 2010. “Regional Aspects of Prolonged Meteorological Droughts over Mexico and Central America”. *Journal of Climate* 23, n.º 5: 1175-1188. DOI: 10.1175/2009JCLI3080.1.
- MOLINA, Mario, José Sarukhán y Julia Carabias. 2017. *El cambio climático. Causas, efectos y soluciones*. México: FCE/SEP/Conacyt.
- MORA, C., D. Spirandelli, E. C. Franklin, J. Lynham, M. B. Kantar, W. Miles y C. L. Hunter. 2018. “Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions”. *Nature Climate Change* 8, n.º 12: 1062-1071. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0315-6>.
- MUJERE, Never y Saeid Eslamian. 2014. “Climate Change Impacts on Hydrology and Water Resources”. En *Handbook of Engineering Hydrology*, vol. 2, editado por S. Eslamian, 113-126. Boca Raton: Francis and Taylor, CRC Group.
- OLIVERA-VILLARROEL, Sazcha Marcelo, Mercedes Andrade-Velázquez y Ojilve Ramón Medrano-Pérez. En Prensa. “Exposición a Cambios en el Clima en Bolivia: Una Propuesta de Regionalización”. En *Concepción Andina del Clima*, editado por Gabriela Canedo y de Rocío Bustamante. Bolivia: Proyecto Concepción Andina del Clima (PIA.ACC-UMSS.49), Programa de Investigación Aplicada Para la Adaptación al Cambio climático.
- ORDAZ, J. L., J. Mora, A. Acosta, B. Serna Hidalgo y D. Ramírez. 2010. *Belice: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México: Cepal.

- ORGANISMO DE CUENCA FRONTERA SUR, Conagua. 2018. *Mapa de cuencas hidrológicas transfronterizas. Programa Hídrico Estatal 2014-2018 del Estado de Chiapas*. Acceso el 20 de septiembre de 2018. [http://www.igh.com.mx/programa\\_hidrico\\_chiapas/](http://www.igh.com.mx/programa_hidrico_chiapas/).
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). 2018. *Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS)*. Acceso el 01 de diciembre de 2018. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.
- PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). 2013. “Summary for Policymakers”. En *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por T. F. Stocker, Qin D., G.-K. Plattner, M. M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley, 3-185. Cambridge/Nueva York: Cambridge University Press.
- PROGRAMA ESPECIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (PECC). 2013-2018. “Programa Especial de Cambio Climático”. Acceso el 10 de septiembre de 2018. [http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa\\_especial\\_de\\_cambio\\_climatico\\_2014-2018.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018.pdf).
- RIVAS MARTÍNEZ, Salvador. 2002. “Clasificación bioclimática de la Tierra”. En *Worldwide Bioclimatic Classification System*. Acceso el 17 de septiembre de 2018. [http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global\\_bioclimatics\\_2.htm](http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global_bioclimatics_2.htm).
- RUANO, Sergio y Andrea Milan. 2014. *Climate change, rainfall patterns, livelihoods and migration in Cabricán, Guatemala*. Report No. 14. Bonn: United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS).
- VALDÉS-MANZANILLA, A. 2016. “Historical floods in Tabasco and Chiapas during sixteenth–twentieth centuries”. *Natural Hazards* 80: 1563-1577. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2039-5>.

- \_\_\_\_\_. 2018. “Effect of climatic oscillations on flood occurrence on Papaloapan River, México, during the 1550-2000 period”. *Natural Hazards* 94, n.º 1: 167-180. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3379-8>.
- WORLD BANK. 2018. *Advancing Disaster Risk Finance in Belize*. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29748>.

### 3. Impacto del cambio climático en la extensión, estructura y diversidad de las comunidades de manglares en el estado de Tabasco

Ángel Sol Sánchez,  
Gloria Isela Hernández Melchor  
y Juan Manuel Zaldívar Cruz

#### Introducción

El estado de Tabasco presenta una creciente superficie de manglares con respecto al año 1999, cuando era casi imposible conocer la superficie real de éstos en el estado. La apertura de brechas, caminos, canales y demás obras en zonas bajas facilitó el ingreso de agua salada al continente y, con ello, la salinización de áreas de importancia agrícola que se convirtieron en manglares, principalmente de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y mangle blanco (*Laguncularia racemosa* Gaertn) y, en menor escala, mangle negro (*Avicennia germinans* L.).

Con la apertura del canal Boca de Panteones, en 1975, esta superficie se ha visto impactada de diversas formas y en sus diferentes recursos (suelo, vegetación, agua, fauna, etcétera), lo que ha acelerado el impacto del cambio climático sobre los mismos, en general, en el complejo lagunar (Salvadores y Reséndez 1990).

En 1999 era muy difícil desarrollar los estudios de las superficies de manglares debido a la falta de mapas digitales, fotografías aéreas y software capaz de agrupar tonalidades por similitud en las figuras. Aun con tales deficiencias, se logró estimar que la superficie era de menos de 35 mil ha. No obstante, debido a la minuciosidad del trabajo de campo realizado para definir tal medición, se obtuvieron evidencias de incremento con el paso del tiempo: de 41 999 ha en 1970, 44 982 en 2005 y 44 591 en 2010 hasta 45 410 en 2015 (Conabio 2015). Es decir, que de 1970 a la fecha el incremento ha sido de 10.2% de la superficie de manglares.

Con relación al impacto del cambio climático sobre los manglares, el incremento del nivel de mar en zonas bajas, como Tabasco, lo que se ha experimentado es que, con la marea, el agua de mar entra al continente cada vez más tierra adentro, y se deposita sobre tierras fértiles el agua salada. Así, al normalizarse la marea, el agua regresa al mar por filtración o provocando con ello la sedimentación de las sales traídas con el agua. Este suelo, al salinizarse, propicia el cambio de diversidad de flora del sitio y con frecuencia es colonizada por alguna especie de mangle. En el ejido Las Coloradas, en Tabasco, esta colonización se ha dado con mangle negro (*Avicennia germinans*), pero en el ejido La solución somos todos toda la colonización ha sido con mangle blanco. Además, ahí, más de 600 hectáreas se salinizaron y la vegetación cambió de pasto insurgente *Brachiaria brizantha* a manglar.

Asimismo, con la variación del clima, las lluvias atípicas torrenciales pueden dañar los árboles de mangles, causar desraizamientos, defoliación, alteración de las condiciones de suelo e, inclusive, azolvamientos por deposición de sedimentos (Cahoon y Hensel 2006). En Tabasco, este fenómeno ha provocado el retroceso de la costa. Del mismo modo se ha observado una seria anticipada floración y asincronía, principalmente del mangle negro y mangle blanco.

En específico, el retroceso de la porción continental ha sido variable dependiendo del lugar y posición al golfo y magnitud del

oleaje. Hernández *et al.* (2008) citan en el golfo de México entre Tabasco y Campeche un retroceso anual de -8 a -15 entre 1943 y 1958 y de -9 y -10 en el periodo de 1984-1995. En el poblado Sánchez Magallanes citan un retroceso de -3 y -5 m/año de retroceso haciéndose más marcado al sector norte. Esta tendencia al retroceso de la costa no limita el crecimiento de la superficie de manglar, dado que el agua entra por las lagunas y de ahí se interna en la porción continental (Hernández *et al.* 2008).

La intensidad y frecuencia de los patrones de circulación del agua puede afectar la dispersión de propágulos y a su vez modificar la estructura de las poblaciones de mangle, de acuerdo con Lovelock y Ellison (2007). Referente a las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico, éste representa una mayor productividad del sistema, pero no hay evidencia de que modifique o altere los ecosistemas de mangle (Komiyama, Ong y Poungharn 2008). En ese sentido, el objetivo de esta investigación fue estimar la superficie de manglares y los impactos causados por fenómenos atribuidos al cambio climático.

## **Desarrollo**

El estudio se inició en 1998, en la costa de Tabasco. En 2007 se establecieron sitios de monitoreo de manglares en la región costera con el fin de conocer su situación en cuanto a superficie por especies y alteraciones en los mismos debido a fenómenos meteorológicos. De 2007 a 2011 se estudió la biodiversidad en los manglares, se establecieron sitios de monitoreo en las inmediaciones a La Venta, Tabasco, pero en este periodo fue casi imposible avanzar en la recolección de información de campo debido a diversos problemas sociales.

Se llevaron a cabo diversas metodologías para poder efectuar un estudio más completo; por ejemplo, para conocer los tipos de suelos y sus características, se realizaron calicatas a lo largo de la zona de manglares. Se hizo también un monitoreo de la flora para documentar los recursos naturales y se elaboraron mapas con apoyo de fotografías aéreas, imágenes de satélites y ortofotos.

Todo esto se corroboró con trabajo de campo. Durante este periodo se realizaron visitas de campo donde se aplicaron encuestas y se desarrollaron estrategias de investigación en la zona. De 2010 a 2014 se hicieron investigaciones aplicadas y, en áreas específicas, se establecieron proyectos aplicados de restauración de manglares financiados por la Comisión Nacional Forestal (Conafor). A partir de esa fecha los estudios sobre manglares en Tabasco han sido más específicos y algunos vacíos de información han sido cubiertos, no obstante, aún falta trabajo por hacer.

## Resultados

### ◇ *Núcleos de población*

Los resultados obtenidos se centran en una parte de las evaluaciones llevadas a cabo de 2007 a 2016 en la costa de Tabasco. De manera general, los núcleos de población considerados en este trabajo fueron 302, de los cuales 154 corresponden a Centla, 48 a Paraíso, 33 a Comalcalco, 13 a Huimanguillo, ocho a Jalpa de Méndez y uno a Nacajuca. De acuerdo con la actual situación de los ambientes costeros, de sus recursos y de la población que ahí vive, se generaron 33 líneas de acción, que agrupan el ordenamiento territorial de las parcelas de manglar, proyectos productivos y cadenas de valor, transformación de madera, conservación de la biodiversidad, conectividad y otros que podrían ser de interés en la conservación del recurso mangle y de la biodiversidad conjunta.

### ◇ *Vegetación*

La superficie estudiada fue de 255 610.3 ha que corresponde a la franja costera del estado de Tabasco, y de la cual la vegetación arbórea con mayor superficie es el manglar (Tabla 1), mismo que ha invadido zonas agrícolas que han visto impactada su capacidad productiva.

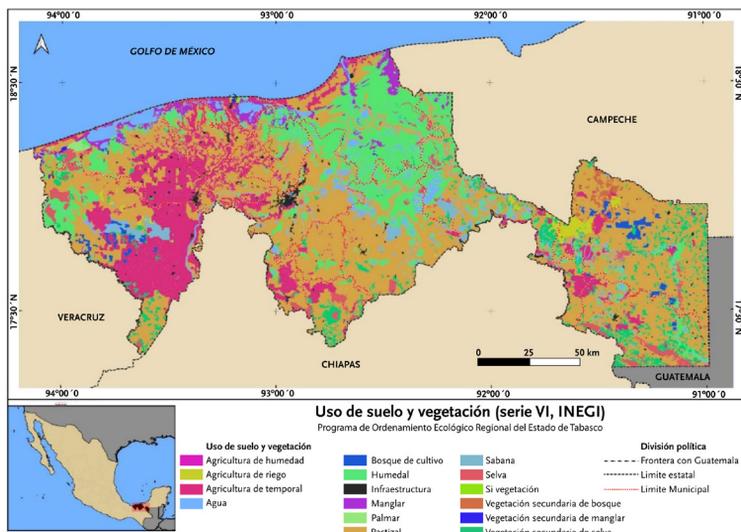
El complejo de tipos de vegetación presente en la zona se debe a que el mangle ha colonizado áreas que primeramente han sido

salinizadas, razón por la cual algunas de éstas se encuentran rodeadas por cacaotales, como en el ejido Lázaro Cárdenas de Comalcalco. Las inundaciones en el estado de los años 2007, 2008 y 2009 jugaron un papel importante en el proceso de salinización y colonización por mangle en las comunidades costeras y cercanas a cuerpos lagunares. Comunidades con marcada influencia salina por la inundación de este periodo son Las Coloradas, El Golpe, el Mingo y Lázaro Cárdenas, donde los cacaotales están siendo sustituidos por manglar con superficies impactadas de decenas de hectáreas.

Uso del suelo y vegetación	Superficie (Ha)	%
Pastizal	79 287.49	31.00
Manglar	30 064.54	11.75
Vegetación hidrófila	44 725.49	17.49
Plantaciones agrícolas	28 016.49	10.95
Palmar (tasiste)	5 477.36	2.13
Selva fragmentada	5 190.60	2.03
Otros tipos de vegetación	13 112.18	5.13
Vegetación halófila	2 998.55	1.17
Selva baja	316.40	0.12
Cuerpos de agua	43 482.59	17.00
Zonas urbanas	3 144.08	1.23
<b>Total</b>	<b>255 815.77</b>	<b>100</b>

Tabla 1. Superficie de los diferentes tipos de usos y vegetación de la Umafoc Costa. Fuente: Sol *et al.* (2011).

La Tabla 1 resume los tipos de vegetación y superficies registrados para la zona de estudio que, a pesar de que los levantamientos de campo, concluyeron en 2011. Ahora bien, la información es válida dado que el incremento de la superficie cubierta por mangle a partir de esa fecha ha sido lento, aunque gradual (Mapa 1).



Mapa 1. Tipos de vegetación de la UMAFOR Costa. Fuente: Sol *et al.* (2001).

La vegetación de la zona se encuentra mayormente representada por poblaciones de mangles en algunas partes y entremezclada en otras, lo que constituye la vegetación arbórea del lugar. Por otro lado, se registró la presencia de áreas de acahual o áreas en sucesión en sitios no inundados y que constituyen la vegetación de la vega de los ríos de agua dulce y márgenes de cuerpos de agua. Asimismo, en el ejido Las Coloradas se registró la presencia de islotes de vegetación en sucesión dentro de manglar blanco y negro.

La vegetación del área de estudio corresponde a diversos tipos, constituyendo un mosaico heterogéneo en los cuales se registraron tñntales (selva baja espinosa de *Haematoxylon campechianum* L.) en áreas de inundación temporal y donde el agua escurre libremente y corresponde a suelos compactos no lodosos. Asimismo, también hay presencia de manglares (*Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* L. Gaerthn y *Conocarpus erectus* L.) en casi en toda el área de estudio. Del mismo modo, encontramos también vegetación hidrófita de diversas superficies y especies como son los carrizales (*Pragmites australis* Cav Trin ex

Steud), tulares (*Typha dominguensis* Pers), popales (*Thalia geniculata* L.) y, en zonas de palmares, *Scheelea liebmanii*.

Dentro de la vegetación propia de la zona, el popal corresponde al grupo de flora conocida como hidrófita, que está caracterizado por la dominancia de *Thalia geniculata* L. y comparte hábitat con el molinillo (*Cyperus giganteus* Vahl, Enum.). Este tipo de vegetación se distribuye a lo largo de la costa en ambientes de agua dulce y constituye grandes poblaciones sobre ambientes lóticos de baja profundidad, mismo que es el ecosistema propicio para el desarrollo de la fauna local. Otras especies de flora registradas con asociación al popal, pero en su parte léntica, fueron la lenteja de agua (*Lemna minor* L.), oreja de ratón (*Salvinia auriculata* Aubl y *Salvinia minima* Baker), lechuga de agua (*Pistia stratiotes* L.), pasto arrocillo (*Echinochloa polystachya* [Kunth Hitch]), cola de pato (*Sagittaria latifolia* Will) y, en algunas áreas en las inmediaciones, el helecho de agua (*Thelypteris interrupta* [Willd.] K. Iwatsuki).

Un tipo más de vegetación registrado en el área de estudio es el tular, espadañal o nea dominado por *Typha latifolia* L. que habita áreas inundadas (lénticas) permanentes llegando a constituir ambientes fangosos e intransitables. Esta especie por lo general no forma grandes poblaciones y se presenta como islotes de vegetación perdidos en las márgenes de los cuerpos de agua y de dimensiones irregulares. El tular comparte hábitat con el helecho *Acrostichum aureum* L., el cual se comporta como individuo aislado y no llega a conformar grandes extensiones, más bien se desarrolla dentro de este ambiente en las áreas menos inundadas o casi secas. Comparte hábitat con la vegetación hidrófita, pero en áreas que no permanecen largo tiempo inundadas se registró la presencia de palmares naturales de tasiste (*Acoellorhaphie wrightii* [Griseb. & H. Wendl.] Britt con una extensión inicial de 5 477.36 ha, pero que a la fecha (2018) se ha extendido a poco más de 7 mil ha. Asimismo, se registró la presencia de la palma yucateca (*Sabal mexicana* L.) y palma de corozo (*Scheelea liebmanii* Becc sin. *Attalea butyracea* Becc) cerca de los cuerpos de agua. El tasiste se

desarrolla en suelos que se incendian año con año, lo que genera que el suelo por lo general se mantenga desnudo debido a que las quemas no permiten crear materia orgánica. Estos suelos se inundan al menos durante un periodo muy corto del año.

La palma de guano yucateco se desarrolla en forma aislada sobre lomos de canales, sangrías, pastizales o áreas que se inundan, pero no permanecen inundados; crece sobre suelos ricos en materia orgánica y suficiente humedad, mientras que la palma de corozo crece en sitios no inundados, pero con suficiente humedad en el suelo. Ambas son comunes en pastizales o potreros. Por otro lado, en áreas no inundadas, pero próximas al área de manglar, se registró la presencia de pastos cultivados en potreros con diversas especies de hoja anchas y áreas agrícolas de temporal y cultivos perennes como el coco y cacao a nivel de plantaciones.

#### ◇ **Suelos**

Los suelos registrados en el área de estudio son diversos, generalmente anegados o que mantienen contacto directo con el agua; algunos, como en caso de la zona alta, se emplean para la ganadería, cultivo de cacao, cítricos o maderables. Otros más, que se mantienen anegados, no tiene uso agrícola, pero sirven para mantener la cobertura vegetal del sitio con especies silvestres adaptadas a estas condiciones (Mapa 2).

Los suelos registrados han sido trabajados por Palma *et al.* (2007) y corresponden a histosoles (HS), fluvisoles (FL), alisoles (AL), solonchaks (SC), cambisoles (CM), gleysoles (GL), arenosoles (Arenosol) y vertisoles (Vr). Los histosoles son ricos en materia orgánica, tienen 20% y 40 cm de espesor o más, se encuentran asociados a subunidades gléysol éútrico y mólicos. Del mismo modo, se registró la presencia de suelos fluvisoles en las orillas de ríos y arroyos, en la laguna El ostión y sus inmediaciones. Estos son suelos que se derivan de sedimentos fluviales, lacustres o marinos y reciben materiales nuevos a intervalos regulares y presentan estratos finos de arena y mantienen una estratificación en al menos 25% del vo-

lumen de suelo entre la superficie y los 125 cm de espesor. Por su parte, los fluvisoles se distribuyen prácticamente en todo el estado en forma paralela a los cauces de los ríos y arroyos. De forma local se les conoce como tierras de “vega de río” o “arenillas”.

En el área de manglar se registró la presencia de suelos solonchaks los cuales presentan un horizonte sálico dentro de los primeros 50 cm de profundidad, y son suelos arcillosos, que se inundan, que presentan intrusión de agua salina procedente de la costa en algún momento del año. Están ampliamente confinados a zonas costeras, como los ejidos El Chicozapote, El Chocho e Islas Encantadas. Asimismo se registró el suelo tipo cambisol, que son suelos intermedios entre las otras unidades de suelo; no tienen las características de los otros suelos; carecen de propiedades gléyicas dentro de los 50 cm y presentan un ligero desarrollo en sus horizontes subsuperficiales, además de que presentan también un horizonte B cámbico y, sobre éste, con un horizonte de diagnóstico A ócrico, un A úmbrico o un A mólico encima del B cámbico, con 50% o menos de saturación de bases y carecen de propiedades sálicas. Ejemplo de ella, es La Azucena y al sur de la Laguna Mecoacán.

Los *alisoles* son suelos que presentan un horizonte B árgico (de acumulación de arcilla iluvial), en el cual la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es al menos de 24 cmol (+) kg<sup>-1</sup> de arcilla y tiene un porcentaje de saturación de bases inferior a 50%, al menos en alguna parte del horizonte B, dentro de una profundidad de 125 cm. En general son suelos ácidos, rojos o amarillos, profundos, de baja fertilidad y altamente intemperizados. De forma local se le conoce como “lomas” o “lomeríos”, tierras rojas o “barro rojo”. Constituyen relictos de antiguas áreas del Pleistoceno que han estado sometidos a lavado de nutrientes y erosión por lo que presentan serios problemas de fertilidad y, por lo general, se emplean en el cultivo de pastos (inmediaciones a villa La Venta y villa Benito Juárez).

Por su parte, los *Gleysol* (GL) son suelos formados sobre materiales no consolidados (excluyendo materiales de texturas

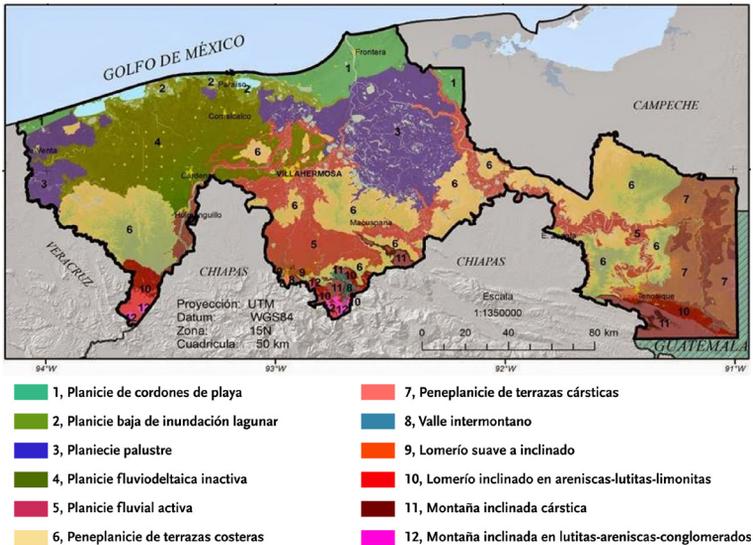
gruesas y depósitos aluviales que tienen propiedades flúvicas), que presentan propiedades gléyicas por la saturación con agua durante ciertos periodos o todo el año y que manifiestan procesos evidentes de reducción o una reducción asociada a la segregación del hierro. Dichos procesos se pueden observar en el perfil por la presencia de colores grises, azulosos o verdosos, ya sea como color dominante o moteados asociados con colores rojizos, amarillentos u ocres, a menos de 50 cm de profundidad en la mayor parte del área de estudio.

Los *arenosoles* (AR) comprenden suelos de textura más gruesa que franco arenoso hasta una profundidad al menos de 100 cm, incluyendo los suelos desarrollados en arenas residuales después de la meteorización *in situ* de sedimentos o rocas ricas en cuarzo, y suelos desarrollados en arenas recién depositadas tales como dunas costeras. A lo largo del cordón litoral.

A su vez, los *vertisoles* (VR) son suelos de textura arcillosa, que tienen más de 30% de arcillas del tipo de las esmécticas 2:1. Estos suelos presentan grietas superficiales en época de seca, que puedan llegar hasta los 50 cm de profundidad, las cuales son provocadas por la naturaleza de las arcillas que provocan fenómenos de expansión y contracción ocasionándose un fro-tamiento de los agregados hasta formar caras de deslizamiento conocidas como resbaladizos. Éstos se ubicaron al sur de las lagunas Machona y La Palma.

#### ◇ *Impactos en superficie*

Desde el inicio de este proyecto, se han presentado cambios significativos a nivel superficie de algunos tipos de vegetación. El tipo de superficie más representativa ha sido la de manglar que en 1999 presentaba una superficie menor a 35 mil ha (datos de campo) y que para 2015 se ha incrementado a 45 410 ha (Conabio 2015). Los factores ligados a este proceso han sido principalmente la apertura de caminos, la salinización, la modificación a los programas de aprovechamiento de mangle y la eliminación de la



Mapa 2. Tipos de suelos UMAFOR Costa. Fuente: Sol *et al.* (2011).

barrera costera de árboles. Esto ha provocado el ingreso del agua salada tierra adentro del continente, como se puede apreciar en la comunidad de Villa y Puerto Coronel Andrés Sánchez Magallanes, donde el mar se adentró en algunos sitios hasta 50 metros, dejando el poblado entre el agua. Del mismo modo se observó a detalle en el ejido El Santuario, a 5 km en dirección al ejido El Golpe, donde una gran superficie se salinizó en los últimos años y provocó un cambio de suelo de agrícola a silvícola, además de que los pastos fueron sustituidos por Batis marítima y vegetación de suelos salinos (Sol *et al.* 2011).

Conabio (2015) cita que, de los estados del Golfo de México con manglares, sólo Tabasco ha mostrado una cifra creciente a partir de 1970, registrándose para 2015 una cifra de 45 410 ha. En tanto, para Veracruz y Tamaulipas la situación ha sido inversa con cifras decrecientes en el mismo periodo. Para 2017, la Conabio vuelve a mostrar la misma cifra para Tabasco, no obstante, hay evidencias de campo que podrían evidenciar que esta cifra es mayor.

Para la región del centro colindante con el Océano Pacífico el patrón de comportamiento ha sido similar. En los estados de Colima, Jalisco y Michoacán la cifra es decreciente en el periodo 1970-2015, siendo Jalisco y Colima los estados que redujeron su superficie de manglar a menos de la mitad en ese lapso. El mismo comportamiento se muestra para los manglares del Pacífico Sur, donde Guerrero, Oaxaca y Chiapas muestran reducciones en superficie, siendo Guerrero el más afectado. En el Pacífico Norte, de los estados Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, sólo Baja California muestra un ligero incremento para el año 2015 (Conabio 2015).

Para el caso de Tabasco el incremento de la superficie está ligada a diversos factores. En el ejido La solución somos todos se ha manifestado un cambio en el patrón de uso de los recursos maderables. Es decir, se ha suspendido el aprovechamiento y venta de puntales de madera de mangle para cimbra y se han acrecentado otras actividades como la apicultura y el turismo rural, lo que ha facilitado que la superficie de manglar se mantenga e incluso se incremente.

Asimismo, las compañías petroleras, en sus esfuerzos por explotar los hidrocarburos, construyeron canales que permitieron la entrada de agua salada, mismos que se han desbordado durante las inundaciones (1983 y 2007), lo que ha favorecido la salinización y establecimiento de poblaciones de mangle blanco y negro, en la misma localidad de La solución somos todos, de Paraíso, Tabasco.

Del mismo modo, la apertura de Barra de panteones facilitó la entrada de agua salada a la Laguna Machona y a los terrenos aledaños, lo que dio origen a la colonización por mangle y, a la vez, al desplazamiento de las actividades agrícolas de esa zona, misma que en la actualidad continúa expandiéndose hacia los ejidos Las Coloradas, El Golpe, El Mingo y otras comunidades aledañas a la Laguna Machona.

Este fenómeno es un caso controversial, pues muchas comunidades hacen uso ilegal del manglar, incluso talan el mangle en su totalidad para establecer pastos para la ganadería.

Aun así, la superficie del manglar cada año es mayor; esto significa que la tasa de recuperación del ecosistema ha sido más rápida que la tasa de deforestación en algunas comunidades, al menos para el estado de Tabasco. Esta situación sobre la tasa de recuperación se debe a la irregularidad de los fenómenos meteorológicos, provocando que el agua salada entre cada vez con mayor fuerza y se extienda tierra adentro (Hernández-Melchor *et al.* 2016a, 2016c).

Por otro lado, debido a las irregularidades del clima, se propició una sobrepoblación de orugas de *anacamptodes sp* entre los años 2010-2011, misma que defolió 3 845 hectáreas de mangle negro en la costa de Tabasco. En el ejido Las Coloradas esta defoliación provocó un desplazamiento espacial de mangle negro que fue ocupado por mangle blanco y mezclas de negro y blanco (Sol-Sánchez *et al.* 2015).

Este factor está ligado al cambio de temperatura, cuya tendencia de cambio de la media anual en el periodo comprendido entre 1961-2010 ha mostrado incrementos significativos en el estado de Tabasco. En la región de los ríos muestra una tendencia de incremento de +2.1, para la Chontalpa +0.4, para la región de los pantanos +0.9, para la región del Centro +0.7 y para la región de la Sierra +0.3 (Rivera *et al.* 2016). Este factor es importante tenerlo presente ya que el cambio en la temperatura es un factor que acelera la presencia de plagas y enfermedades que podrían ser letales al ecosistema.

El mismo efecto se ha manifestado en la precipitación durante el mismo periodo, donde la tendencia de cambio en mm para la región de La Chontalpa fue de +198.9, en el Centro +201.8, en la Sierra -416.4, en los pantanos +17.9 y en la de los ríos +69.0. Esta suma de factores hace impredecibles los posibles impactos en los ecosistemas y sus componentes (Rivera *et al.* 2016). Además, se debe tener presente que la falta de agua dulce en las zonas de manglares puede llevar a la acumulación de sales y generar condiciones hipersalinas que constituyen un serio estrés para los manglares.

### ◇ **Estructura y diversidad de las comunidades**

En relación con la estructura de los manglares en la zona, el continuo incremento de la superficie en diversos sectores de la Costa ha permitido que haya una clara diferenciación de manglares en diversos estadios de desarrollo (mas no en diversidad de comunidades), dado que las especies de mangle en el estado son muy pocas y escasamente comparten hábitat dadas las condiciones de sal en las cuales se desarrollan (Sol *et al.* 2011, Hernández *et al.* 2016b).

En siete unidades de muestreo realizado en manglares de Comalcalco y Paraíso, en parcelas de 500 m (Sol *et al.* 2011), se registró la presencia de mangle rojo en cuatro unidades de muestreo, y en dos sitios la presencia de blanco y negro, mientras que, en Paraíso, en dos unidades de muestreo se registró la presencia de mangles blanco, rojo y negro mezcladas entre sí, con índices de diversidad fraccionarios de 0.29, 0.24, 0.14, 0.12, 0.32, 0.37 y 0.15, lo que indica un ambiente pobre en diversidad. No obstante, el número de individuos por unidad de área muestreada fue variable, registrándose un número de individuos máximos y mínimos de: rojo (105, 48), blanco (208, 4) y negro (133, 12). Esto significa que, mientras el manglar se encuentra en proceso de estabilización y diferenciación por áreas, es posible registrar la presencia de al menos las tres especies en un mismo ambiente. Pero cuando éste ya ha equilibrado sus poblaciones, toman rumbos distintos dependiendo de la salinidad y profundidad del agua. Esta disparidad en el número de individuos en una misma zona indica la existencia de diversos microambientes en los cuales se tienen individuos en diferentes estadios de desarrollo, edades y clases diamétricas.

En las áreas defoliadas por *anacamptodes sp.* de 2010 a 2011, se obtuvieron valores de DAP que oscilaron de 0.3 a 36 cm, con una media de 8.2 cm de un total de 1 831 árboles evaluados justo al concluir la infestación de orugas. Este aspecto es muy importante dado que 92.1% del total de árboles evaluados se ubicaron dentro de las clases diamétricas 2 y 1, con 45% (821 árboles) y 24.7% (451 árboles), lo que indica que la plagas pueden modifi-

car la estructura de las comunidades de mangle al exterminar las poblaciones de esta especie, o bien crear zonas de inestabilidad y generar adversidades mayores (Osland *et al.* 2016).

De no tomarse medidas correctivas en las zonas afectadas, existe la posibilidad de que se genere un cambio de uso de suelo de forestal con mangle negro a matorrales cubiertos casi exclusivamente por *Batis maritima* L., especie oportunista invasiva de áreas costeras desprovistas de vegetación, que se comporta de manera distinta a lo reportado por Osland, Gonzalez y Richardson (2011), donde citan la presencia de 14 especies de plantas en áreas secas en humedales de Palo Verde, en Costa Rica. Esta inestabilidad podría manifestarse generando un cambio del patrón en la distribución de las especies dado que los individuos afectados se encontraban en etapa juvenil y fase temprana reproductiva, etapa en la cual fueron susceptibles a los ataques y defoliación por la oruga de anacamptodes (Sol-Sánchez *et al.* 2015, Osland *et al.* 2016).

Del mismo modo, algunas áreas impactadas por la actividad petrolera en la década de 1990, como son el Cuahutemoczin, el Bari o Laguna El Yucateco han mostrado signos representativos de recuperación, no obstante, el uso excesivo de madera de mangle para postes para la delimitación de potreros ha impedido su extensión al máximo, como sucede en el ejido de La solución somos todos, donde se restringió la extensión de la superficie ganadera en áreas de manglar.

## Conclusiones

Los ecosistemas de manglar son ambientes muy dinámicos, dado que su formación a nivel de poblaciones depende de las modificaciones en el patrón salino y éste, a su vez, de las mareas, inundaciones o entrada de agua salada al continente para dar paso a nuevas formaciones. El área trabajada muestra signos serios de incremento de la salinidad y de formaciones naturales de mangle blanco, rojo y negro, pero escasamente del mangle botoncillo.

Se ha mencionado que en algunas áreas, como los ejidos Las Coloradas y La solución somos todos, las nuevas formaciones son de mangle negro y blanco, respectivamente, en función del porcentaje de sal en el suelo en el primer caso y al constante nivel del agua en el segundo.

En relación con la extensión de los manglares, ésta se ha expandido en los últimos años y existe la posibilidad que continúe expandiéndose debido al ingreso cada vez mayor y más frecuente del agua de mar hacia el continente, sobre todo en las comunidades de Villa Benito Juárez, Sánchez Magallanes, ejido Sinaloa, El Alacrán y El Manatinero, frente al océano y las comunidades aledañas al Complejo lagunar Carmen-Majonal-Machona, dado que el agua pasa del océano a la laguna, ahí toma fuerza y luego la marea entra a la porción continental.

Referente a la diversidad y estructura, los mangles presentes en el estado fueron mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), blanco (*Laguncularia racemosa* C.F. Gaertn) negro (*Avicennia germinans* L.) y botoncillo (*Conocarpus erectus* L.). La estructura se compone de diversas clases diamétricas dependiendo de la edad del arbolado.

Finalmente, las estrategias de uso y aprovechamiento de los manglares se consideraron importantes para intentar mantener la estabilidad de las comunidades vegetales en la zona y evitar el aumento de la superficie desprovista de vegetación.

De la superficie de mangle que se ha incrementado, 10.2% representa un incremento de 4 631 ha en el periodo 1970-2015, a pesar de que en muchas comunidades costeras del interior el manglar es eliminado para establecer ganadería con pastos de mala calidad ganadera.

## Referencias

- CAHOON, D., y Hensel, P. 2006. "High-resolution global assessment of mangrove responses to sea-level rise: A review". En *Proceedings of the symposium on mangrove responses to relative sea level rise and other climate change effects*, 9-17.
- CONABIO. 2015. *Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo 1970/1980-2015*. México: Comisión Nacional para el uso Manejo y Conocimiento de la Biodiversidad.
- HERNÁNDEZ-MELCHOR, G. I., O. Ruiz-Rosado, A. Sol-Sánchez y J. I. Valdez-Hernández. 2016a. "Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, n.º 14: 2757-2767.
- HERNÁNDEZ-MELCHOR G. I., Á. Sol-Sánchez, O. Ruiz-Rosado y J. I. Valdez-Hernández. 2016b. "Controversias legislativas en la protección del ecosistema manglar: el caso Tabasco, México". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, n.º 14: 2841-2855.
- HERNÁNDEZ-MELCHOR, G. I., Á. Sol-Sánchez, O. Ruíz-Rosado, J. I. Valdez Hernández, J. C. López-Collado y J. L. Reta-Mendiola. 2016c. "Diagnóstico del proceso de reforestación en manglares de la costa de Tabasco". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, n.º 14: 2883-2894.
- HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R., M. A. Ortiz Pérez, A. P. Méndez Linares y L. Gama Campillo. 2008. "Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente". *Investigaciones geográficas*, (65), 7-21.
- KOMIYAMA, A., J. E. Ong y S. Pongparn. 2008. "Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review". *Aquatic botany* 89, n.º 2: 128-137.
- LOVELOCK, C. E. y J. Ellison. 2007. *Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change*. The Great Barrier Reef Marine Park Authority.

- OSLAND, M. J., E. Gonzalez y C. J. Richardson. 2011. "Coastal Freshwater Wetland Plant Community Response to Seasonal Drought and Flooding in Northwestern Costa Rica". *Wetlands* 31: 641-652. DOI 10.1007/s13157-011-0180-9.
- OSLAND, M. J., L. C. Feher, K. T. Griffith, K. C. Cavanaugh, N. M. Enwright, R. H. Day, C. L. Stagg, K. W. Krauss, R. J. Howard, J. B. Grace y K. Rogers. 2016. "Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests". *Ecological Monographs*: 1-19. <https://doi.org/10.1002/ecm.1248>.
- OSLAND, M. J., N. M. Enwright, R. H. Day, C. A. Gabler, C. Stagg y J. B. Grace. 2015. "Beyond just sea-level rise: considering macroclimatic drivers within coastal wetland vulnerability assessments to climate change". *Global Change Biology* 22: 1-11. DOI: 10.1111/gcb.13084.
- PALMA, D. J., J. Cisneros, E. Moreno y J. A. Rincón. 2007. *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Villahermosa: Colegio de Postgraduados/Isprotab/Fuprotab.
- RIVERA HERNÁNDEZ, B., L. Aceves Navarro, A. Arrieta Rivera, J. Juárez López, J. Méndez Adorno y C. Ramos Álvarez. 2016. "Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, n.º 14: 2645-2656. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.435>.
- RODRÍGUEZ, M. T. y C. Troche. 2015. "Manglares de México: diez años de retos en su monitoreo". *Biodiversitas* 120: 14-19.
- SALVADORES B., M. L. y M. A. Reséndez. 1990. "Modificaciones en la composición ictiofaunística del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona Tabasco, por la apertura de Boca de Panteones". *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7, n.º 14. DOI: <http://dx.doi.org/10.19136/era.a7n14.451>.

- SOL-SÁNCHEZ, Ángel, F. Sánchez-Gutiérrez, G. Hernández-Melchor, L. Zamora Cornelio, O. Sardiñas Gómez, C. Rivera y P. Toruño. 2015. "Volumen maderable de mangle negro (*Avicennia germinans* L.) impactado por herbivoría de *Anacamptodes* sp en Cárdenas Tabasco". *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 1, n.º 1: 115-133. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2145>.
- SOL S., Á., L. F. Zamora C., G. I. Hernández M., E. D. Shirma T. y Y. Almeida H. 2011. *Estudio Regional Forestal para la Unidad de Manejo Forestal Costa, Estado de Tabasco. UMAF 2703CO*. Tabasco: Ecodet-Conafor-Asociación Regional de Mangleros de Tabasco.



## 4. Cambio climático y perspectivas agroalimentarias en el noreste de México

Rodrigo Tovar Cabañas,  
Rocío del Carmen Vargas Castilleja  
y José Clemente Rueda Abad

### Introducción

México se caracteriza por ser un país megadiverso, y su climatología no es la excepción. Por ejemplo, los 11 climas generales que registra el Inegi (2008), de acuerdo con la clasificación climática de García (2004), se pueden desagregar en más de 600 mesoclimas. En efecto, quizá el secreto de la biodiversidad del territorio mexicano estribe en su diversidad climática. Sin embargo, las formas de estudiar estas relaciones últimamente se adhirieron al paradigma de la modernidad, lo que culminó en una serie de estudios de casos, cuya riqueza analítica ahora es necesario condensar y, de ese modo, potenciar aún más la vocación agropecuaria de las distintas regiones.

Al respecto, durante la última década se han desarrollado diversos trabajos científicos cuyo objetivo ha sido documentar la estrecha relación que existe entre el cambio climático y la fragilidad de ciertos cultivos. Sobresale lo hecho por Gay *et al.* (2004) en torno al impacto del cambio climático sobre las regiones cafetaleras ante diversos escenarios en Veracruz; lo que dice González

*et al.* (2011) sobre el peligro que corren los campos de cultivo frijolero de Jalisco si las tendencias de calentamiento global continúan su senda antropogénica; también es interesante mencionar el trabajo de Cruz (2011) y la tendencia hacia la desaparición del sistema de milpas en el centro de México a consecuencia del cambio climático. Lo loable de estas investigaciones pioneras radica en que han puesto sobre la mesa el tema y la importancia de revalorar el análisis de las condiciones climáticas, del cambio climático y de la variabilidad climática natural para con la producción agroalimentaria del territorio mexicano. Sin embargo, aún hace falta resolver otras incógnitas, como conocer, precisar y geo referenciar el número de las hectáreas afectadas por la modificación de la frontera climática.

### **Cambio climático y agricultura en México**

En México, Ponce, García y Ercan (2001), mediante un estudio sobre evapotranspiración y humidificación del clima local del Valle Ojos Negros, Baja California, fueron de los primeros en estudiar la relación entre variaciones climáticas y agricultura moderna. Su trabajo se centró en documentar cómo el agua de irrigación (de origen subterráneo) altera las variables meteorológicas (humedad y dirección de los vientos locales) de dicho mesoclima.

Por su parte, García y Cruz (2009), con un análisis de varianza paramétrico, documentaron la variabilidad pluviométrica de la región del Pacífico Norte, en particular de los estados de Chihuahua, Durango y Sinaloa; es decir, analizaron los datos de precipitación anual de 74 estaciones de la base de datos ERIC II. Uno de sus hallazgos fue que la precipitación media anual de 1921 a 2004 fue de 694.73 mm, y que el número de estaciones con incrementos fue significativamente mayor al número de estaciones con decrementos en la última década, por lo que infieren que la intensidad de la lluvia ha aumentado en la región del Pacífico Norte en los últimos 10 años.

En tanto que Cerano, Villanueva y Fulé (2010), luego de aplicar una dendrocronología a la reserva ecológica Cerro el Mohinora, Chihuahua, pudieron determinar la relación entre la variabilidad climática y la ocurrencia de incendios. Para los últimos tres siglos, la frecuencia de los incendios reconstruidos oscila entre 5.1 a 8.8 años y presenta un fuerte componente estacional durante los meses de primavera con 73% de probabilidad y en verano con 27%. Es importante señalar que Cerano, Villanueva y Fulé (2010) ligan los incendios de la zona de estudio con el fenómeno de El Niño u oscilación del sur.

Medina *et al.* (2011) toman en cuenta la tendencia mundial del calentamiento atmosférico global, usando algunos modelos de circulación general para analizar, de forma retrospectiva, el comportamiento de la temperatura de la mitad fría del año (octubre a marzo) y elaborar mapas de temperatura futura para el periodo 2011-2060 de la zona manzanera del estado de Chihuahua (municipio de Cuauhtémoc). Sus resultados consideran posibles disminuciones en la acumulación de frío dentro de las zonas idóneas para la producción de diferentes variedades de manzanas. Lo anterior invita a pensar en opciones de adaptación de la fruticultura de montaña al cambio climático, tal como la sustitución de variedades o iniciar el traslado de plantaciones de manzano hacia áreas con mayor acumulación de frío.

Goytia-Jiménez, Gallegos-Goytia y Núñez Colín (2011) también abordan el tema de la adaptación de la agricultura tropical de montaña al cambio climático. En específico, realizan un estudio fenotípico de las distintas variedades de higuierilla (*Ricinus communis* L.) y su rendimiento en diferentes entornos climáticos, tales como el clima lluvioso tropical con registros de precipitación entre 2 500 mm a 4 000 mm, así como mayor a 4 000 mm y clima sabana tropical entre 1 200 mm a 2 500 mm y menores de 1 200 mm. Los resultados destacan que, pese al clima seco y cálido (con precipitación inferior a 1 200 mm anuales), es el más adecuado para producir biocombustibles a base de aceite de ricino proce-

dente de las distintas variedades de higuera. La gran cantidad de fenotipos (diversidad) de este cultivo pueden considerarse como una estrategia eficaz para la adaptación a los cambios climáticos que en unos años han de experimentar las diversas regiones montañosas del sur de México. Por otro lado, Gay *et al.* (2004) analizan el comportamiento del cultivo del café bajo escenarios de cambio climático, destacando que la producción del café podría disminuir al 2050 en 73 a 78% de acuerdo con escenarios futuros más drásticos o pesimistas.

Debido a que México tiene 75% de territorio montañoso, el reto de la adaptación al cambio climático será más acusado en estas regiones, como en el caso del Altiplano, región que analizó Cruz (2011) al observar los indicadores biológicos, agroecosistémicos y culturales de los ciclos agrícolas (2008-2009 y 2009-2010) en algunas tierras de temporal del municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México, ubicado a más de 2 850 msnm. Este autor sugiere que el ciclo de lluvias, durante la última década, se ha ido atrasando casi por un mes. Dentro de sus argumentos destaca el comportamiento de indicadores biológicos, puesto que la presencia tanto de plantas, insectos y animales asociados a la temporada de lluvia hicieron acto de presencia hasta la tercera semana del mes de junio, más de un mes después de lo habitual. En tanto que, en los indicadores agroecosistémicos que presenta, la siembra mostró un atraso de más de 60 días, la escarda más de 30 días y el deshierbe de 20 días.

Para el caso de los estados de Michoacán y Guerrero, centro-occidente de México, Sáenz *et al.* (2012) proyectan la forma en cómo podrían ser las afectaciones del cambio climático sobre la producción de Agave (*Agave cupreata*). Su análisis pronostica que, en México, debido al cambio climático antropogénico, la temperatura aumentará 3.7 °C y que, debido a tal aumento, puede desarrollarse una disminución de 18.7% en la precipitación anual en la región del río Balsas, por lo que recomiendan

realizar una migración asistida de las plantas de agave a zonas de mayor altitud antes de 2030.

De forma paradójica, desde la teoría de procesos estocásticos y considerando los procesos hidrológicos, Sánchez *et al.* (2012) modelaron la agricultura de temporal de Cuencamé, Durango, particularmente el cultivo del maíz, bajo diferentes escenarios climáticos. Sus resultados indican que se esperan incrementos en rendimiento de hasta 300 kg por ha. Además, consideran que a partir del año 2020 se incrementará la precipitación en esa región norteña de México.

Como puede notarse, las tendencias de los efectos del cambio climático en México varían mucho de región a región. En referencia, Torres, Cruz y Acosta (2011) argumentan que los modelos de simulación en los rendimientos futuros de los cultivos estiman reducciones de 30% para México, en contraparte con 5% para Argentina. Estas diferencias reflejan el contraste climático y los efectos más negativos para unas regiones que para otras, debido a su posición geográfica, clima y actividad humana, entre otras.

Brito (2012) sugiere que los cambios regionales en la precipitación en México tienen tendencias significativas de diferentes signos. Sin embargo, a escala nacional, nuestro país ha experimentado una disminución general en la precipitación media total anual. Por ejemplo, la merma señalada, de 1920-2008, ha sido de aproximadamente 21 mm en la acumulación media anual y 9 mm en la acumulación media en verano.

Con base en el recuento anterior, es complejo documentar las afectaciones negativas que el cambio climático le generará a ciertos cultivos, puesto que algunas acciones antropogénicas no siempre producen impactos negativos sobre el clima, como en el caso del riego, que en regiones áridas contribuye de forma positiva al incremento del confort bioclimático de plantas y animales.

Además, considerando los más de 600 mesoclimas de México, es muy arriesgado afirmar que en todo el país existe una disminución en la precipitación media total anual de aproximadamente 21

mm, pues podría ser que en realidad el ciclo natural de las lluvias se esté atrasando. En ese caso, estadísticamente su periodicidad no debería calcularse de forma secular. Lo mismo puede inquirirse sobre algunos estudios que pronostican un incremento de temperaturas asociado con mermas en la precipitación de hasta 18.7% en la región sur del país.

Al respecto, otros estudios específicamente vinculados a la región norte de México señalan que la intensidad de la lluvia ha aumentado en los últimos 10 años; además, aseguran que, a partir de 2020, se incrementará la precipitación en la región norteaña de México. El reto de la adaptación al cambio climático será más acusado en las regiones de montaña, por lo que es necesario mapear las tendencias para conseguir resultados más concluyentes, puesto que una migración asistida de cultivos a regiones climatológicamente ignotas puede considerarse como una medida desesperada que le abona al problema y no a la adaptación al cambio climático. Por tal motivo, se presenta el análisis del comportamiento en los cambios pluviométricos de las regiones climáticas en el norte-noreste de México.

## **Metodología**

El análisis comparado fue el enfoque que se siguió en este trabajo debido a que usualmente éste se utiliza para comprender las diferencias existentes entre dos lugares, una serie de lugares o entre el mismo lugar, pero con situaciones temporales distintas (Tovar, Vázquez y Jáuregui 2017), como en el caso de las series de estaciones meteorológicas georreferenciadas cuyos datos climatológicos fueron recabados en dos momentos. El primero de ellos, computado por García (1988, 75), corresponde al periodo del final de las décadas de 1960, 1970 y comienzos de 1980; el otro periodo fue compilado y actualizado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y corresponde al periodo de comienzos del siglo XXI (García 2004).

De modo que la presente investigación hizo uso de tales datos históricos concernientes a variables del clima, sobre todo de precipitación, con la finalidad de elaborar una línea de tendencia de los patrones espaciales del clima vinculados a los cultivos del norte de México, dando énfasis al noreste, conformada por cinco estados: Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua y Sonora. Las bases de datos consultadas fueron procesadas y contrastadas usando los modelos matemáticos del software GvSIG 2.0, una herramienta de acceso libre especializada en analizar sistemas de información geográfica. Por ejemplo, se utilizó la ecuación de distancia inversa cuadrática para generar las interpolaciones que dieron pie a las máculas de las isoyetas, tanto del primer periodo analizado concerniente al promedio de precipitación media anual acaecido entre 1964 y 1980, así como del segundo periodo analizado concerniente al promedio de precipitación media anual acaecido entre 1981 y 2004.

Donde  $\lambda$  (con valores entre 0 y 1) es la función de la ponderación de los  $N$  puntos muestrales  $i$  que se usan para calcular la distancia al punto no muestral  $Z(j)$  a partir de los puntos conocidos  $Z(i)$ .

Las diferencias en los polígonos resultantes (máculas de isoyetas), entre las series de inicio 1964-1980 y las series de final 1981-2004, se cuantificaron mediante la técnica de *overlay* e *intersecc*, entre otras alusivas al análisis *raster*.

Los principales cambios que se hallaron entre las distintas series de régimen de precipitación media anual fueron ubicados geográficamente para luego ser contrastados y superpuestos con los mapas dinámicos de frontera agrícola, así como con las estadísticas de producción agrícola, ambos reportados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa 2017).

## Resultados y discusión

Durante los últimos 30 años, 7.7% del territorio del norte de México ha experimentado un cambio en el régimen pluviométrico medio

anual; es decir, de los 717 mil km<sup>2</sup> aproximadamente 55 mil km<sup>2</sup> cambiaron su régimen de lluvias. Destaca la mácula de la isoyeta de 450 mm, la cual redujo su extensión en alrededor de 49 900 km<sup>2</sup>. Ello significa que 6.9% del norte de México está dejando de ser árido (Figura 1). Ocurrió lo mismo, pero a menor escala, con la isoyeta de 300 mm de precipitación media anual, puesto que ésta también redujo su extensión territorial en alrededor de 5 mil km<sup>2</sup>.

La mayor parte de esas reducciones fueron absorbidas o cubiertas por la isoyeta de 900 mm, la cual creció de 1980 al año de 2004 en 24 094 km<sup>2</sup>, seguida por la mácula de la isoyeta de 600 mm, la cual también creció en 14 095 km<sup>2</sup>. Otro régimen de precipitación que tuvo una tendencia positiva fue la isoyeta correspondiente a los 1 200 mm de precipitación anual, puesto que creció alrededor de 12 100 km<sup>2</sup> durante los últimos 30 años.

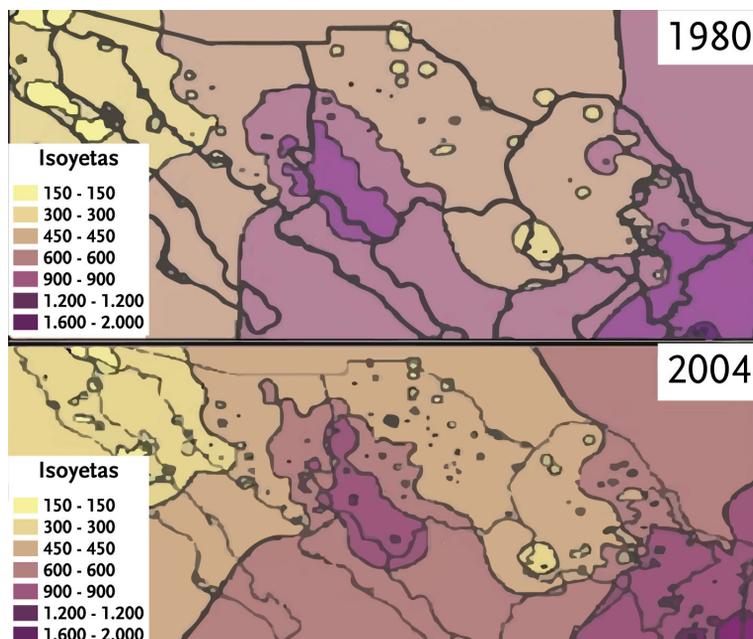
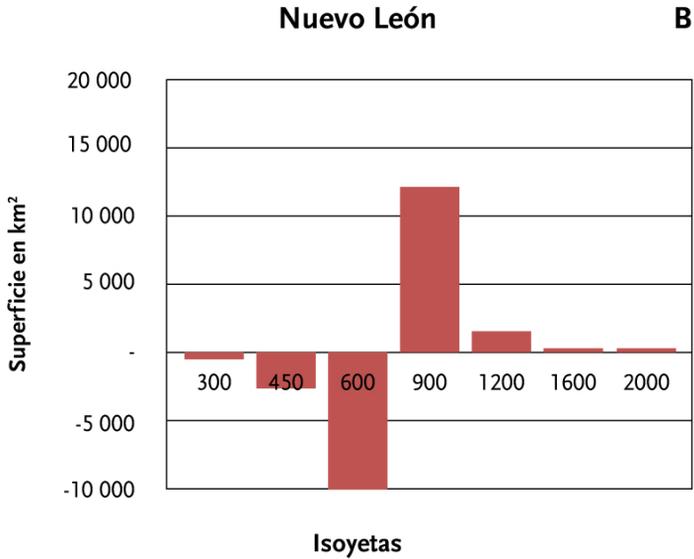
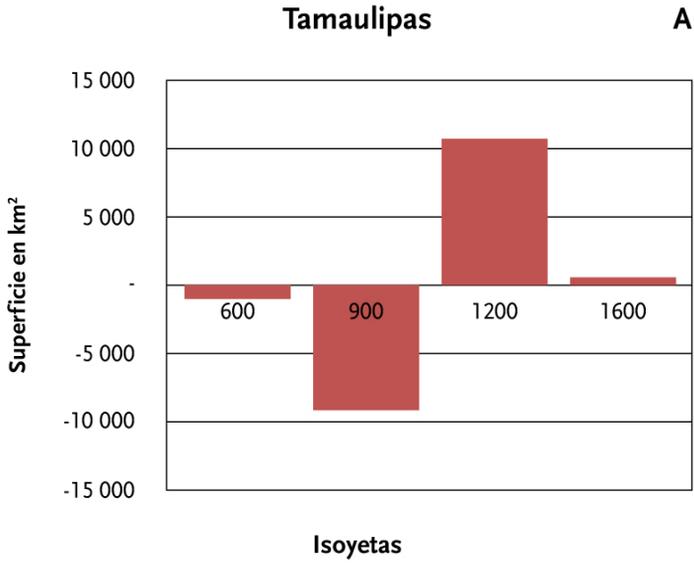


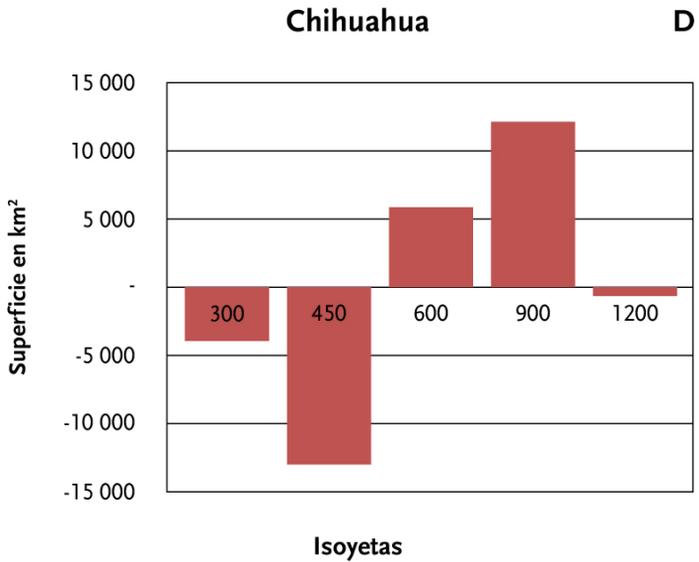
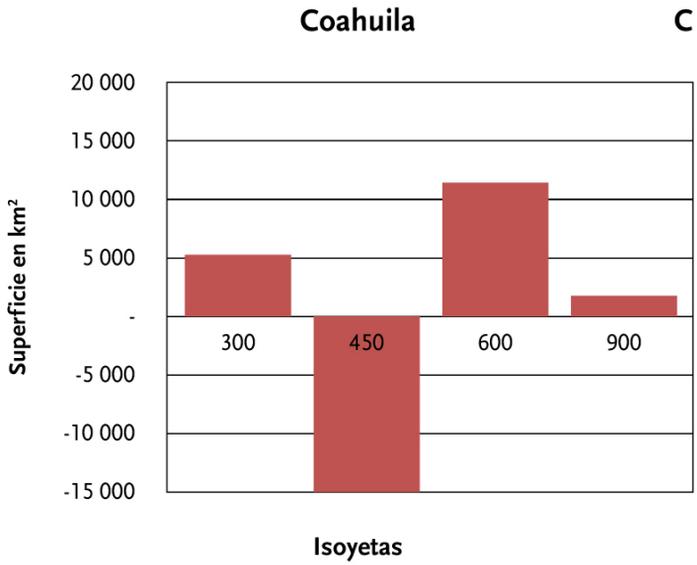
Figura 1. Mapa de isoyetas de la serie 1980 y 2004 Fuente: elaboración propia con base en García (1988, 2004).

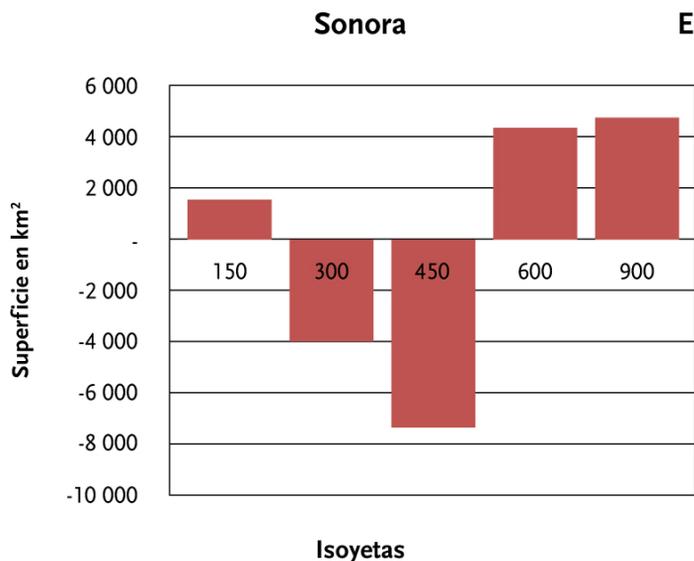
Se destaca el comportamiento de la isoyeta de 150 mm de precipitación media anual, correspondiente a climas extremadamente áridos, puesto que, en términos geográficos, su extensión territorial aumentó significativamente en alrededor de 2 mil km<sup>2</sup>. Este resultado, de acuerdo con la teoría climática, estaría indicando que los núcleos de las zonas climáticas se están consolidando, en tanto sus bordes o fronteras tienden a comportamientos estadísticamente estocásticos, por lo que para tener una mejor interpretación de los resultados es necesario analizarlos a diferentes escalas.

El caso del noreste es particularmente significativo, sobre todo la vertiente costera, donde Tamaulipas aparenta ganar humedad ya que, durante las últimas tres décadas, 14.17% de su territorio experimentó un cambio en el régimen de precipitación media anual. En efecto, de sus 75 mil km<sup>2</sup> aproximadamente 10 mil km<sup>2</sup> modificaron su régimen de precipitación.

Destaca la mácula de la isoyeta de los 900 mm, la cual redujo su extensión en alrededor de 9 279 km<sup>2</sup>. Ello significa que 12.3% del estado de Tamaulipas está dejando de ser semiárido (ver Gráfica 1a). También la isoyeta 600 mm de precipitación media anual experimentó una reducción de su extensión territorial, ya que ésta redujo su extensión en alrededor de 6 600 km<sup>2</sup>. De los 10 000 km<sup>2</sup> en cuestión, fueron irrigados por la mácula de la isoyeta 1 200 mm, la cual creció 3.94%, de 1980 a 2004. Lo descrito significa que el sureste del estado de Tamaulipas, en las últimas tres décadas, ha incrementado su régimen de precipitación media anual.







Gráfica 1 (a, b, c, d, e). Incremento y decremento de extensión territorial de isoyetas, comparativo 1980 y 2004. Fuente: elaboración propia con base en García (1988, 2004).

El caso de Nuevo León sigue la misma tendencia de Tamaulipas, aunque de forma más marcada, puesto que de sus 64 156 km<sup>2</sup> de superficie estatal total, alrededor de 12 408 km<sup>2</sup> (19.34%) dejaron de pertenecer a la mácula de la isoyeta de los 600 mm de precipitación media anual, en tanto que otros 3 561 km<sup>2</sup> (5.5%) también dejaron de pertenecer a la isoyeta de los 450 mm. Mientras que el régimen de precipitación de 300 mm tuvo una ligera tendencia decreciente, menor a 1% estatal (Gráfica 1b).

La mayor parte de esos cambios, fueron absorbidos por la isoyeta de 900 mm, la cual creció de 1980 a 2004 en 14 198 km<sup>2</sup> (22.1% del total superficial estatal), seguida por la isoyeta de 1 200 mm, la cual también aumentó en 1 707 km<sup>2</sup> (2.66%). Mientras, el régimen de precipitación de 1 600 mm tuvo una ligera tendencia de crecimiento, es decir menor a 1% estatal. La distribución geo-

gráfica de esos cambios tiene su mayor incidencia al sur de Nuevo León, principiando tales cambios de régimen pluviométrico desde el municipio de Linares hasta el norte de Doctor Arroyo. Los resultados expuestos concuerdan con lo dicho por García y Cruz (2009) en torno a que la intensidad de la lluvia ha aumentado en la región del Pacífico Norte en los últimos 10 años y con lo dicho por Sánchez *et al.* (2012) relativo a que a partir de 2020 se incrementará la precipitación en el norte de México.

Entonces, para los casos de Nuevo León y Tamaulipas, los decrementos espaciales o de extensión de isoyetas de baja precipitación han sido compensados en otras isoyetas de mediana precipitación. Ese hecho no ocurre del todo en Coahuila, estado donde el decremento territorial de la isoyeta de 450 mm (17.2% del total territorial estatal) pareciera que fue ligeramente compensado con el crecimiento espacial de la isoyeta de los 300 mm (5.1% del total territorial estatal) de precipitación media anual (Gráfica 1c). El resto fue absorbido sobre todo por la isoyeta 600 mm (10.5%) y por la de 900 mm (1.5%). Esto significa que en promedio 7 730 km<sup>2</sup> (5.1%) del territorio coahuilense, en 30 años, se ha sumado a la categoría de clima árido con precipitación anual inferior a los 300 mm. De forma paradójica, este cambio acaeció hacia el centro-sur de Coahuila, en especial hacia sus límites con Durango. El resto de las variaciones en el régimen pluviométrico, las que indican ganancia de humedad, ocurrieron sobre la frontera noreste y sureste del estado.

Ahora bien, debido al gran tamaño del territorio del estado de Chihuahua, sus pequeños porcentajes parecieran relajar los cambios ocurridos durante las últimas tres décadas. Sin embargo, si se observan los valores absolutos se tiene que las máculas de las isoyetas de 300 y 450 mm redujeron su extensión en 4 182 y 12 868 km<sup>2</sup>, respectivamente, mientras que las isoyetas de 600 y 900 mm aumentaron su extensión en 6 013 y 12 076 km<sup>2</sup>, respectivamente (Gráfica 1d). Estos cambios apenas se notan al centro del estado. El caso de la isoyeta de los 1 200 mm es la única de los

climas medianamente lluviosos (de los cinco estados analizados) que redujo su extensión territorial a 445 km<sup>2</sup>. Este último cambio se dio al suroeste de Chihuahua, principalmente en los municipios de Guazaparez y Guadalupe y Calvo.

El caso de Sonora es similar al de Coahuila, puesto que el decrecimiento territorial de las isoyetas de 300 y 450 mm (2.3 y 4.1%, respectivamente) pareciera que fue compensado, de forma ligera, con el crecimiento espacial de la isoyeta de los 150 mm (1.1% del total territorial estatal) de precipitación media anual (Gráfica 1e). Esto significa que 1 847 km<sup>2</sup> del territorio sonorenses, en las últimas tres décadas, se ha sumado a la categoría de clima muy árido con precipitación anual inferior a los 150 mm. Este cambio ocurrió al noroeste del estado, en los municipios de San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco. El resto de los cambios en el régimen pluviométrico ocurrido en dicho estado fueron absorbidos por las isoyetas de 600 y 900 mm, con una ganancia en extensión territorial de 4 699 y 5 022 km<sup>2</sup>, de manera respectiva. Dichos cambios se manifestaron de forma evidente en las porciones este-noreste, este y sureste de dicha demarcación territorial. Más allá del caso del área de la curva de la isoyeta 150 mm, de los cinco casos analizados, Sonora presenta la menor variación porcentual en sus distintos regímenes de precipitación media anual.

Al sobreponer los datos que atestiguan los cambios en el régimen de precipitación ocurridos en el noreste de México durante las últimas tres décadas (con los mapas de frontera agrícola y las estadísticas de producción agrícola de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa 2015, 2017]) se está en condición de señalar la cantidad de superficie y los tipos de cultivos que han quedado en medio de tales dinámicas climatológicas. Con este cruce de información se documentan las fortalezas y las debilidades del sistema agrícola del norte y noreste de México, y se contribuye a fincar sus perspectivas a mediano y corto plazo.

En términos porcentuales, la superficie correspondiente a la agricultura de temporal del estado de Tamaulipas que se encuentra situada en las regiones del sureste del estado, dígase la porción más propensa al cambio climático (alteración positiva de régimen pluviométrico), corresponde a 28% del total reportado por la Sagarpa (2017); es decir, de los 3 311.52 km<sup>2</sup> computados como superficie total de agricultura de temporal cosechada, alrededor de 927.8 km<sup>2</sup> han ido adquiriendo mayor precipitación de forma paulatina (Tabla 1).

Bajo ese mismo esquema, Nuevo León tiene 1 608.1 km<sup>2</sup> de superficie de agricultura de temporal (70% del total de superficie agrícola de temporal) implicados en un cambio positivo del régimen de precipitación derivado del cambio climático que afecta positivamente a sus municipios de Arramberri, Doctor Arroyo y General Zaragoza. Mientras que, para el caso de Coahuila, la extensión territorial de los cambios más acusados es de 1 000.46 km<sup>2</sup> de superficie agrícola cosechada de temporal (equivalente a 100%), todos ellos dentro de la demarcación de los municipios de Ramos Arizpe, Saltillo y Arteaga.

De los 4 608.90 km<sup>2</sup> de superficie con agricultura de temporal del estado de Chihuahua, situados sobre las regiones más propensas al cambio climático positivo (municipios de Galeana y norte de Buenaventura que ganaron precipitación dentro de su régimen anual), 1 080.24 km<sup>2</sup> corresponden a 27% del total cuantificado por la Sagarpa (2017); mientras que otros 360 km<sup>2</sup> de superficie de agricultura de temporal cosechada se ubican sobre otras regiones susceptibles al cambio climático negativo (municipios de Guazaparez, Guadalupe y Calvo que disminuyeron su régimen de precipitación anual), y corresponden a 9% del total de superficie agrícola de temporal estatal.

De los cinco estados analizados, Sonora es el que involucra la menor cantidad de superficie cosechada de temporal, pues aunque 100% se encuentra dentro de la región que atestigua cambios de régimen pluviométrico, dicha extensión territorial es de sólo

260.25 km<sup>2</sup>; mismos que desde la teoría climática pueden ser catalogados como cambios climáticos de tendencia positiva, debido a que tales territorios han ganado en precipitación durante las últimas tres décadas, sobre todo en los distritos de Desarrollo Rural de Moctezuma, Sahuaripa, Cajame y Navojoa, municipios de Bacadehuachi, Granados, Bacanora, Ónavas y Navojoa.

Estado	Total, Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup> ubicados en zonas que aumentaron su régimen de precipitación	%
Tamaulipas	3 311.52	297.8	28.01
Nuevo León	2 297.32	1 698.10	70.00
Coahuila	1 00.46	1 000.46	100.00
Chihuahua	4 608.90	1 080.24	23.43
Sonora	260.35	260.35	100.00

Tabla 1. Superficie agrícola de temporal cosechada en el norte y noreste de México para el ciclo agrícola 2017 con impacto en el régimen de precipitación para el periodo 1980-2004 (unidad de medida km<sup>2</sup>). Fuente: elaboración propia con base en Sagarpa (2017).

En cuanto a las variedades cultivadas, como era de esperarse dada la herencia gastronómica mesoamericana y de aridoamericana, son el maíz y el frijol los tipos de cultivos que con mayor frecuencia se encuentran situados sobre los municipios del norte del país, y los que evidencian un acelerado cambio de régimen pluviométrico. En tanto que a nivel estatal se observan sutiles diferencias, por ejemplo, en Tamaulipas aparte del maíz, en orden de prelación, también están en riesgo los cultivos de soya, caña de azúcar, naranja y algodón; mientras que en Nuevo León

básicamente es la región citrícola y el cultivo de naranja el más amenazado por el cambio climático.

El estado de Coahuila casi se apega al promedio de toda la región norte de México, puesto que tanto el maíz como el frijol son los cultivos que con mayor frecuencia se ubican en las zonas de fuerte cambio pluviométrico de los municipios de Arizpe, Saltillo y Arteaga. Mientras que al caso de Chihuahua sólo habría que sumarle el cultivo de avena a los casos del maíz y frijol, para tener el diagnóstico de los principales cultivos en riesgo ante el cambio climático. Por último, a Sonora habría que sumarle a los casos de maíz y frijol, el del ajonjolí, para saber que estos son los principales cultivos en riesgo de sufrir una baja en su producción media anual debido a que en su mayoría tales cultivos se ubican sobre las máculas de las isoyetas que experimentaron un mayor cambio en su régimen pluviométrico.

En términos cuantitativos, como se puede apreciar, Tamaulipas reporta cinco cultivos en riesgo climático; Nuevo León, tres; Coahuila, dos; Chihuahua, tres, y Sonora, tres. Y si se descartan los casos que a nivel estatal se repiten, vemos que, en la región norte de México, de sus 52 cultivos de temporal sólo ocho están bajo la amenaza de menguar en su promedio de producción anual debido al acelerado cambio de régimen pluviométrico que experimentaron las regiones donde mayoritariamente se cultivan éstos. Las tierras de cultivo presentan un cambio en las últimas tres décadas ganando en promedio 300 milímetros de precipitación, por lo que el impacto del cambio climático sobre los cultivos de temporal de los municipios y distritos agrícolas en riesgo de los estados analizados tienen aún la oportunidad de diseñar e implementar estrategias de adaptación y mitigación en el sector agrícola. Exceptuando el caso de la mácula de 1 200 mm del suroeste de Chihuahua, pues ahí el cambio climático fue de orden negativo, ya que disminuyó la precipitación.

## Conclusiones

Las variaciones climáticas que ha sufrido el norte de México ocupan 7.7% del territorio constituido por Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua y Sonora, puesto que de los 717 mil km<sup>2</sup> que cubren, al menos 55 mil km<sup>2</sup> experimentaron un cambio en el régimen pluviométrico medio anual. Las áreas que experimentaron una reducción en su extensión pertenecen a las isoyetas de 450 y 300 mm, puesto que éstas se redujeron en 50 mil y 5 mil km<sup>2</sup>, respectivamente. En tanto, las áreas que experimentaron un incremento en su extensión pertenecen a las isoyetas de 900, 600 y 150 mm, ya que éstas ampliaron su cobertura en 24 094, 14 095 y 2 000 km<sup>2</sup>, respectivamente. Estos resultados sugieren que los núcleos de las zonas climáticas se están consolidando, mientras que sus límites se están dinamizando de manera estocástica.

El comportamiento de dichos cambios por estados fue el siguiente: el sureste del estado de Tamaulipas, en las últimas tres décadas, ha incrementado su régimen de precipitación media anual, lo mismo que el sur de Nuevo León, desde el municipio de Linares hasta el norte de Doctor Arroyo. Del mismo modo, pero en menor proporción territorial, el centro de Chihuahua aumentó ligeramente su régimen de precipitación.

5% del territorio estatal de Coahuila, en su porción suroeste, se volvió más árido, en tanto que sus municipios de Arispe, Saltillo y Arteaga aumentaron la superficie en sus niveles de precipitación. Por último, el noroeste del estado de Sonora (municipios de San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco) se volvió aún más árido, mientras que sus porciones este-noreste, este y sureste se volvieron ligeramente más lluviosas.

Su relación con las fronteras agropecuarias y el número de km<sup>2</sup> afectados por la modificación de la frontera climática quedó de la forma siguiente: 927.8 km<sup>2</sup> de tierras de agricultura de temporal del sureste del estado de Tamaulipas experimentan una alteración positiva de régimen pluviométrico, de igual forma 1 608 km<sup>2</sup> de tierras para cultivo de temporal al sur de Nuevo León experimen-

tan fuertes aumentos en su régimen de precipitación media anual; 1 000 km<sup>2</sup> del sureste de Coahuila y otros 1 080 km<sup>2</sup>, también del sureste de Chihuahua, experimentaron ese mismo cambio; Sonora sólo evidenció 260 km<sup>2</sup>. Por otra parte, 360 km<sup>2</sup> de superficie agrícola de temporal cosechada del suroeste de Chihuahua, muestran una alteración negativa de régimen pluviométrico.

En tanto que por tipos de cultivos mayoritariamente en riesgo por estas fuertes tendencias de cambio climático se tiene que, en el norte de México, de 52 cultivos de temporal 8 están dentro de las máculas de las isoyetas con acelerado cambio de régimen pluviométrico. Por estados, en Tamaulipas los cultivos de soya, caña de azúcar, naranja y algodón son los que están en mayor riesgo; en Nuevo León el cultivo de naranja es el más amenazado por el cambio climático; en Coahuila es el maíz y el frijol, igual que en Chihuahua, que además evidenció al cultivo de avena dentro de la zona con cambios positivos en el régimen de precipitación anual. Sonora, además del caso del maíz y frijol, recurrente en todos los anteriores estados analizados, también evidenció al cultivo de ajonjolí en riesgo por causa del cambio climático.

La vulnerabilidad de los sistemas agrícolas ante los efectos del cambio climático en la región norte y noreste de México debe ser abordada mediante el desarrollo de las capacidades de adaptación, a través de los mecanismos y financiamientos climáticos, trabajando desde la comunidad rural prioritariamente. El presente análisis de los cambios en la lluvia y su modificación superficial del norte de México contribuye a desarrollar un posterior estudio del comportamiento en los escurrimientos y la recarga de los mantos acuíferos en dicha región, así como el análisis del impacto del cambio climático mediante el uso de modelos para generar escenarios futuros.

Por otro parte, se recomienda empadronar la gran cantidad de fenotipos disponibles de las variedades de maíz y frijol, entre otros tipos de cultivos, para sistematizar y discernir los casos que requieran de una sustitución de variedades y los que necesiten

una migración asistida hacia zonas con similitudes climáticas favorables, así como geografizar las regiones libres de cultivos que en adelante presenten nuevas condiciones climáticas para dar cobijo a ciertos tipos de cultivos regionales o autóctonos, como una medida de adaptación, pero también de mitigación a la problemática de los cambios en el clima.

## Referencias

- BRITO CASTILLO, L. 2012. "Regional pattern of trends in long-term precipitation and stream flow observations: singularities in a changing climate in Mexico". En *Greenhouse Gases-Emission, Measurement and Management*, editado por Guoxiang Liu, 387-412. Croacia: InTech.
- CERANO PAREDES, J., J. Villanueva Díaz y P. Z. Fulé. 2010. "Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la Reserva Cerro El Mohinora, Chihuahua". *Revista mexicana de ciencias forestales* 1, n.º 1: 63-74.
- CRUZ, M. 2011. "Comparación del ciclo agrícola actual con el de hace unos diez años en San Juan Jalpa municipio San Felipe del progreso Estado de México: evidencia de adaptación al cambio climático". *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible* 7, n.º 1: 95-106.
- GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana)*. México: Enriqueta García de Miranda.
- GARCÍA, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- GARCÍA, F. e I. Cruz. 2009. "Variabilidad de la precipitación pluvial en la región Pacífico Norte de México". *Agrociencia* 43, n.º 1: 1-9.

- GAY, C., F. Estrada, A. C. Conde y H. Eakin. 2004. "Impactos potenciales del Cambio Climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México)". s.d.
- GONZÁLEZ EGUIARTE, D. R. *et al.* 2011. "Expectativas de adaptación al cambio climático de tres variedades de frijol en Jalisco". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 337-350.
- GOYTIA-JIMÉNEZ, M. A., C. H. Gallegos-Goytia y C. A. Núñez-Colín. 2011. "Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuerilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas". *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 17, n.º 1: 41-48.
- INEGI. 2008. *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas*. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- MEDINA, G., J. A. Ruiz-Corral, M. R. Ramírez-Legarreta y G. Díaz Padilla. 2011. "Efecto del cambio climático en la acumulación de frío en la región manzanera de Chihuahua". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 251-263.
- PONCE, V. M., O. R. García Cueto y S. Ercan. 2001. "Posible cambio climático debido a la explotación de agua subterránea en el Valle de Ojos Negros, Baja California". *Investigaciones geográficas*, n.º 44: 6-17.
- SÁENZ, C., A. Martínez-Palacios, J. M. Gómez-Sierra, N. Pérez-Nasser y N. M. Sánchez-Vargas. 2012. "Estimación de la disociación de Agave cupreata a su hábitat idóneo debido al cambio climático". *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 18, n.º 3: 291-301.
- SAGARPA. 2015. *Cobertura Nacional de Frontera Agrícola Serie II. México*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Acceso el 19 de mayo de 2018. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.

- \_\_\_\_\_. 2017. *Estadística de la producción agrícola de 2017*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Acceso 1 de mayo de 2018. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- SÁNCHEZ, I., M. A. Inzunza Ibarra, C. Valencia, E. Alonso, J. L. González Barrios, G. González Cervantes y M. Velásquez Valle. 2012. “Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3, n.º 4: 805-811.
- TORRES, P., J. Cruz y R. Acosta. 2011. “Vulnerabilidad regional de procesos agroambientales frente al cambio climático”. *Política y Cultura* 36: 205-232.
- TOVAR, R., S. Vázquez y J. Jáuregui. 2017. “Hermanamiento de ciudades isogeográficas de Monterrey, Nuevo León”. *Didáctica Objetiva e Investigación Arquitectónica* 22: 17-21.

# **SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS**



## **5. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en San Pedro El Saucito, Sonora, y Progreso, Yucatán**

Miriam Alfie C.  
y Gustavo M. Cruz-Bello

### **Introducción**

Uno de los aspectos clave para diseñar estrategias de adaptación a los impactos del cambio climático (CC) es reconocer la importancia de la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales y las comunidades que en ellos habitan. Se trata de recuperar la tríada desarrollo-sociedad-naturaleza con el fin de establecer respuestas que fortalezcan la capacidad para enfrentar riesgos. En particular, esto es relevante en localidades pequeñas, pues su escala permite vislumbrar con mayor claridad los impactos del CC y la manera en cómo las percepciones, la cultura, el conocimiento local, aunado a las condiciones económicas y geográficas, dan cuenta de múltiples posibilidades de participación y deliberación de estrategias frente a los cambios vividos de manera cotidiana. La adaptación de comunidades implica el desarrollo de una cultura resiliente, un proceso óptimo y autónomo, así como la posibilidad de llevar a cabo acciones que fortalezcan las capacidades individuales y colectivas. En muchas ocasiones estos procesos refuerzan la identidad comunitaria, la participación y el aprendizaje.

Bajo esta lógica, decidimos abordar dos casos emblemáticos de investigación con la aplicación de dos métodos novedosos de participación y deliberación en la prevención del riesgo y la puesta en marcha del Método Q (instrumento que muestra las ideas en común sobre un tema o problemática y resulta útil al evaluar procesos de participación), que nos permitió conocer las preferencias comunitarias para adaptación al riesgo de CC por sequías. Por su parte, en Progreso, Yucatán, adoptamos el método de cartografía participativa con la intención de conocer propuestas comunitarias para la adaptación a inundaciones provocadas por el CC. Estos casos se eligieron gracias a que se contaba con actores líderes en la comunidad que nos permitieron acercarnos, conocer y entender de cerca sus dilemas, actitudes y preferencias ante el cambio climático.

Este ensayo aborda, en una primera parte, los términos teóricos sobre adaptación y vulnerabilidad al CC, así como la necesidad de introducir un nuevo concepto conocido como la *gobernanza del riesgo* que nos permitirá entender la importancia de la participación y deliberación comunitaria en la adopción de medidas de adaptación. Posteriormente, se describen las características físicas, geográficas y ambientales de los casos de estudio. En la última sección exponemos las dos metodologías puestas en práctica y los resultados obtenidos en diversos talleres efectuados con la comunidad, las autoridades locales y la universidad.

### **Algunas categorías de análisis**

Cuando hablamos de CC existen dos visiones. La primera, refiere a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (ONU 1992) que establece cómo el CC está directamente relacionado con la acción antropogénica, pues ésta modifica (a través de los procesos de desarrollo adoptados) los componentes de la atmósfera, lo que se suma a la variabilidad del clima en tiempos comparables. En este sentido, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2007) establece

que son las modificaciones de la temperatura media las que nos permiten ir midiendo los cambios en un periodo de tiempo largo y, gracias a ello, podemos ejecutar un ejercicio de comparación y procesos de mitigación-adaptación para enfrentar las posibles crisis. La segunda visión, atribuible al Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (ONU 2011) argumenta que la propia naturaleza, junto con la acción humana, producirá cambios importantes en las temperaturas; la gran diferencia es que, si bien dan pronósticos de incremento en la temperatura de 1.4 a 5.8 entre 1990 y 2100, no parten de la base de aplicación de políticas para reducir las emisiones.

Por tanto, tenemos dos posturas que, lejos de abordar la problemática de manera distinta, se complementan. La primera hace alusión a la acción antropogénica en los procesos de industrialización, la cual, junto con la urbanización y el crecimiento de la población, generó importantes procesos de contaminación y utilización excesiva de recursos naturales. Así, se distorsionó la relación desarrollo-ambiente al impulsar un proceso de ganancias inmediatas que dejó de lado los tiempos de recuperación de la naturaleza. De esta forma, el uso intensivo de combustibles fósiles, resultado de este patrón de crecimiento, dio pie al aumento de gases de efecto invernadero (GEI), como el bióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano y el ozono, así como sus consecuencias sobre el clima. La acción antropogénica sobre el planeta cobró importancia al imprimir un estilo de desarrollo y modo de vida típico de las sociedades modernas.

La segunda visión se concentra en el binomio sociedad-naturaleza, donde la segunda tendrá sus ritmos, cambios y transformaciones, lo cual ha permitido la vida en el planeta. Cabe hacer mención que esta relación es dialéctica, pues no sólo la naturaleza, sus tiempos y transformaciones han permitido la existencia de los seres vivos, sino que también la sociedad con sus acciones, estilos de vida, formas de desarrollo y cultura plasma su huella sobre el entorno. Por ello, tan pertinente

es la relación desarrollo-naturaleza, como la utilización del binomio sociedad-ambiente. Asimismo, recuperar la tríada desarrollo-sociedad-naturaleza se convierte en un eje de análisis transversal en las investigaciones sobre adaptación al CC. Desde nuestra perspectiva, el uso del término de *sistema socio-ecológico* es pertinente, pues refiere a un concepto holístico, sistémico e integrador del “ser humano-en-la-naturaleza”.

En este sistema complejo y adaptativo los distintos componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos, etcétera, están interactuando. Esto implica que el enfoque de la gestión de los ecosistemas y recursos naturales no se centra en los componentes del sistema, sino en sus relaciones, interacciones y retroalimentaciones. Así, nuestra investigación gira en torno a la capacidad de adaptación de sistemas socio-ecológicos vulnerables al CC en localidades que han sufrido desastres. Si estamos de acuerdo en que hoy el CC es un asunto global que impacta de manera local, las comunidades ocupan un lugar preponderante como espacios propicios de este tipo de estudios.

Bajo esta lógica, durante muchos años los estudios sobre el CC giraron en torno a la mitigación y la imposición de medidas políticas y económicas para los grandes emisores, entendidas éstas como la puesta en práctica de acuerdos internacionales que proponen una baja en los gases de efecto invernadero (GEI), y las cuales se concentran en cambios de corte ingenieril de alta tecnología para impulsar la diversidad energética. En tanto, la adaptación por sus propias características (que implican cultura, territorio, percepciones y conocimiento local) se escapa a un esquema determinado. Ahora bien, cuando hablamos de *adaptación*, por lo general, se asocia con la vulnerabilidad y la resiliencia, y toma en cuenta las trayectorias de desarrollo, así como elementos como la efectividad, la eficiencia, la legitimidad y la equidad (Adger, Arnell y Tompkins 2005; Gallopín 2006).

La adaptación implica tanto elementos exógenos como endógenos y, por tanto, la toma de decisiones sobre la planeación de

un territorio, la respuesta al riesgo y la gestión de los recursos, entre otros. La adaptación alude a un núcleo de políticas en materia de CC que permite atender los impactos locales en los sectores más vulnerables de la sociedad. Para varios autores, entre ellos Barton (2009) y Klepp y Chávez-Rodríguez (2018), la *adaptación* se define como la capacidad de un sistema para asimilar el cambio a partir de herramientas que la comunidad posee y así afrontar influencias externas. Algunos de los elementos que se toman en cuenta para determinar esta capacidad están relacionados con el acceso a recursos ambientales, uso de suelo, capital financiero y, los llamados, bienes y servicios.

También, se incluye la flexibilidad de la comunidad. Ello hace alusión a que entre mayor y más diverso sea el número de actividades –no sólo económicas– que la comunidad realiza, mayores serán sus oportunidades frente a incertidumbres climáticas o socioeconómicas; además, las comunidades que estén sujetas a mayor estabilidad política, económica o social tendrán más posibilidades de planificar su futuro, resistir cambios drásticos y acumular múltiples recursos para mejorar su resiliencia frente a contingencias de orden diverso.

Para el IPCC (2014) la adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, así como a sus efectos, y estos mecanismos pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Así, se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellos el preventivo y el reactivo, el público y el privado, o el autónomo y el planificado. Desde la visión de Kottak (2011), la adaptación es el proceso por el que los organismos hacen frente a las fuerzas y tensiones ambientales, pero si algo convierte en únicos a los humanos es que también poseen medios culturales de adaptación. Pichón (2014) asegura que la adaptación gira en torno a la capacidad de adecuación o inadecuación de la respuesta del sujeto a las exigencias del medio. Para este autor la adaptación implica una lectura de la realidad, donde la eva-

luación y las propuestas de cambio son permanentes. Bajo esta lógica lo que está en juego es la capacidad de los individuos para resistir y salir adelante de los cambios ocasionados por un evento.

De esta manera, retomar los retos que el CC presenta a nivel local permite detectar la materialización de los impactos en los sectores más vulnerables y, al mismo tiempo, llevar a la práctica medidas viables y posibles que faciliten la adaptación comunitaria. Esta lógica se inscribe en la escuela conocida como Adaptación basada en Comunidades que cobra auge a finales de la década de 1990 en América Latina. Según Hebe (2017), desde esta óptica se pretende ir construyendo un enfoque de CC unido al desarrollo de las comunidades al incorporar decisiones de abajo hacia arriba.

La característica distintiva de esta escuela es la participación permanente de los actores locales en el desarrollo comunitario para combatir los cambios, con la mira puesta en la reducción de la pobreza, la seguridad alimentaria, la protección de la salud y la educación. Este enfoque tiene la ventaja de construir alternativas a partir de las características específicas de cada localidad. Además, permite crear pertenencia, generar conciencia y un sentimiento de compromiso con el cambio o ajuste de prácticas habituales, con la intención de anticipar los impactos y mejorar las condiciones de vida. Dos elementos llaman la atención en esta definición: los conceptos de *vulnerabilidad* y de *participación y deliberación comunitaria*.

La *vulnerabilidad social* es definida por Adger (1999) como la exposición de las personas de forma individual o colectiva a una alteración inesperada en sus formas de sobrevivencia producto de impactos como el cambio climático. Además, está relacionada con factores socioeconómicos y demográficos que afectan la resiliencia de las comunidades (Flanagan *et al.* 2011). Es decir, el grado de vulnerabilidad de una comunidad se ve reflejado en las condiciones de su población: la educación, el nivel de desarrollo, construcciones deficientes, mala ubicación, bajos ingresos, organización social diferenciada, distintas culturas e ideologías,

y deficiencias políticas e institucionales, así como sus características socioeconómicas. Así, estas condiciones proporcionan mayor o menor grado de vulnerabilidad ante un desastre.

En otras palabras, el grado de vulnerabilidad de la población está íntimamente relacionado con su nivel de desarrollo (Lavell 1996). Para Aneas (2000) la vulnerabilidad puede ser medida a través del impacto de los desastres, los cuales presentan una relación cada vez más directa con el aumento de la densidad de población, la deficiencia en la infraestructura física y la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas. Mientras que, para Delgadillo (1996), la vulnerabilidad implica ser susceptible de sufrir un daño y tener dificultad para recuperarse. Por su parte, Wilches-Chaux (1993) establece que la vulnerabilidad está relacionada con la incapacidad de una comunidad para absorber y adaptarse, por sí misma, a los efectos originados por un cambio en su ambiente.

Cuando abordamos el tema de participación y deliberación en las comunidades nos acercamos al concepto de *gobernanza*. Para De Sousa Santos (2007), este concepto es una matriz que permite generar una estructura absorbente y de base, así como un entorno creador de una red interconectada de ideas pragmáticas y de patrones cooperativos de comportamiento, compartidos por un grupo de actores determinados y por sus intereses. Se puede decir entonces que la gobernanza funciona como una estructura, como un proceso de coordinación y direccionalidad e implica una serie de arreglos y de pactos entre múltiples actores sociales. La pérdida de poder del Estado, la emergencia de redes de acción social, la multiplicidad de actores sociopolíticos y económicos, así como el fenómeno de subsidiariedad dan pie a tratar de integrar nuevos instrumentos políticos que permitan una horizontalidad en la toma de decisiones ("*side-by-side decision making*").

En el campo relacionado con la adaptación al CC, la gobernanza del riesgo permite profundizar en la importancia de la participación y deliberación social en la toma de decisiones sobre un territorio, un proceso de hechura y confección de políticas,

donde el énfasis se encuentra en la multiplicidad de actores y en el proceso de construcción y toma de decisiones colegiadas frente al desastre. Etzioni, Golden y Weld (1997) argumentan cómo una comunidad que actúa de manera concentrada e ilustrada puede lograr objetivos y fines, pues la gobernanza implica coordinación y conducción de procesos: construcción de políticas a partir de deliberación y negociación; autonomía y autoorganización de proyectos provenientes de la sociedad que refuerzan el potencial de incidencia en las decisiones; conducción renovada del Estado, así como una gestión descentralizada y flexible.

Para Renn (2008) y Klinke y Renn (2006) uno de los problemas más graves frente al riesgo y su gestión es que su estudio se percibe como un acontecimiento fortuito y determinado e impide una visión integral y de prevención. Por ello, cobra relevancia la gobernanza del riesgo, la cual intenta desarrollar un marco analítico-conceptual que incluye tanto la participación efectiva de las partes interesadas, como las decisiones frente a los riesgos. Así, el concepto de gobernanza del riesgo comprende una visión amplia del mismo que no sólo incluye lo que se ha denominado “gestión de riesgos” o “análisis de riesgos”, sino que también analiza cómo se desarrolla la toma de decisiones, de qué manera se involucran una variedad de actores, quién coordina las acciones y la comunicación entre roles, perspectivas, metas y actividades.

Esta visión es innovadora, pues comprende tanto el contexto social (estructura e interacción de los actores que se ocupan del riesgo, la percepción de éste y las preocupaciones de las consecuencias probables) como una nueva categorización del conocimiento relacionado con el riesgo (simple, complejo, incierto o ambiguo). Esta clasificación está directamente relacionada con la causa-efecto entre el riesgo y las consecuencias, la fiabilidad de esta relación y el grado de controversia que puede generar en los afectados (Renn y Klinke 2013).

En América Latina, autores como Ramírez (2015) retoman a Kooiman (2004) y McGinnis y Ostrom (2014) para señalar cómo

la gobernanza del riesgo debe incluir tanto la visión del sistema sociopolítico (SSP) que identifica estructuras, interdependencias e interrelaciones y articulaciones entre múltiples actores (tanto públicos y privados), así como la comprensión de la complejidad del territorio como un sistema socio-ecológico (SSE) que posibilita ver las relaciones entre los procesos sociales, la forma y el uso de los recursos naturales y los ecosistemas que los sustentan. Para los latinoamericanistas se trata de planificar y gestionar ambos sistemas en una escala territorial que permita poner en práctica la gobernanza del riesgo. Esta apuesta se basa en la gobernanza de redes que puede articular relaciones importantes entre el Estado y la sociedad civil a partir del incremento de la legitimidad y la confianza.

### **Las comunidades de estudio**

En este segundo apartado se describen las condiciones geográficas, climáticas, sociales y económicas de las dos comunidades de estudio. La localidad de Progreso, Yucatán, es una zona propensa a inundaciones provocadas por ciclones tropicales, en la cual utilizamos cartografía participativa para poner en práctica la llamada *gobernanza del riesgo* y las posibilidades de adaptación comunitaria. Por otro lado, la comunidad de San Pedro El Saucito, en Hermosillo, Sonora, sufre de altas temperaturas y sequías; ahí aplicamos el Método Q, para encontrar las preferencias socioambientales de la comunidad para adaptarse al CC.

Los riesgos latentes en el municipio de Progreso son en su mayoría hidrometeorológicos (ciclones tropicales, nortes, vientos fuertes e inundaciones) como consecuencia de la destrucción de su infraestructura costera. El clima del municipio es semi-cálido con una temperatura media anual de 26 °C (Ayuntamiento de Progreso 2015-2018).

### ◇ **Características de Progreso**

La localidad de Progreso se localiza en el municipio de Progreso, Yucatán. Su elevación promedio es de dos metros sobre el nivel del mar y su superficie es plana (Figura 1). El asentamiento fue creado desde 1856 (Ayuntamiento de Progreso 2015-2018).

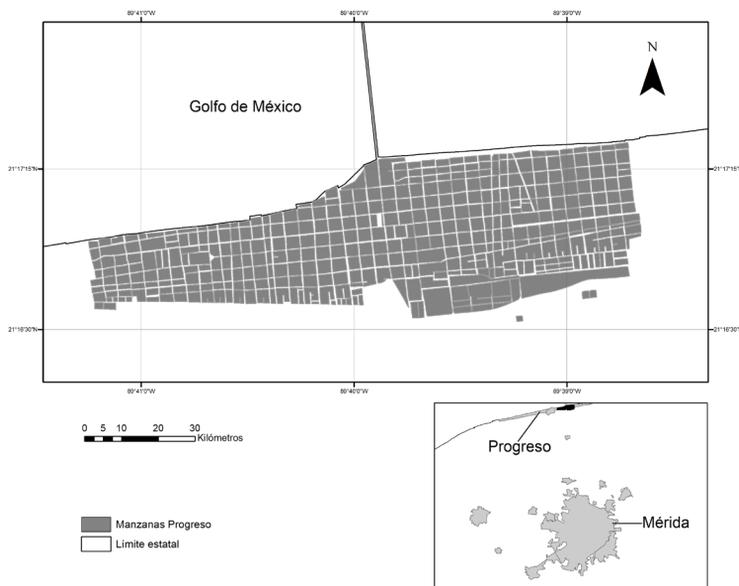


Figura 1. Ubicación de Progreso. Fuente: Laboratorio de Análisis Socio Territorial.

De acuerdo con el Sistema Meteorológico Nacional (2017), la presencia de huracanes como Gilberto en 1988, Mitch en 1998, Isidoro en 2002, Emily en 2005 y Lowell y Arthur en 2008 ha tenido repercusiones en la zona, desde fuertes lluvias y vendavales hasta inundaciones, pérdidas materiales y de vidas. La localidad de Progreso es casi en su totalidad una zona urbana. En el municipio homónimo, a poco más de un kilómetro hacia el sur, se encuentran algunas zonas de manglares (Ciénega) y, aproximadamente a tres kilómetros más, comienza las zonas de vegetación secundaria, de

selva baja caducifolia y agricultura de temporal. La urbanización, el desarrollo y la expansión del puerto, aunado a la destrucción de zonas costeras y las actividades económicas han modificado las coberturas del suelo en todo el municipio (Inegi 2014).

La población urbana total de Progreso es de 41 965 habitantes (49.7% son hombres y 50.3% son mujeres). De éstos, 22% van de los 0 a 14 años, 68% tienen entre 15 y 64 años y 10% posee 65 o más (Inegi 2020). En lo que respecta a la población que habla alguna lengua indígena, se registra 0.03%. De la población que tiene más de 15 años, se detecta que 0.02% es analfabeta. Por otra parte, el grado promedio de escolaridad corresponde a 9.68 años (Inegi 2020). En Progreso la distribución de las unidades económicas registradas a finales del mes de diciembre de 2017 arroja que el comercio es la actividad que más se ejerce en la localidad con 42.94%, seguido de los servicios de alimentos con 11.96%, y la pesca y envasado con 4.9% (Inegi 2017).

#### ◇ ***Características de San Pedro El Saucito***

La comunidad de San Pedro El Saucito se localiza en el municipio de Hermosillo, Sonora. Con una elevación promedio de 256 metros sobre el nivel del mar (Figura 2). Fue fundada en el año de 1935 por pobladores del río Sonora. En 1994 la localidad abarcaba 2 249 ha, de las cuales 1 492 eran de uso común, 685 parcelas agrícolas, 255 urbanas y 29 de infraestructura de ríos y arroyos con 106 ejidatarios beneficiados (Gaytán 2012).

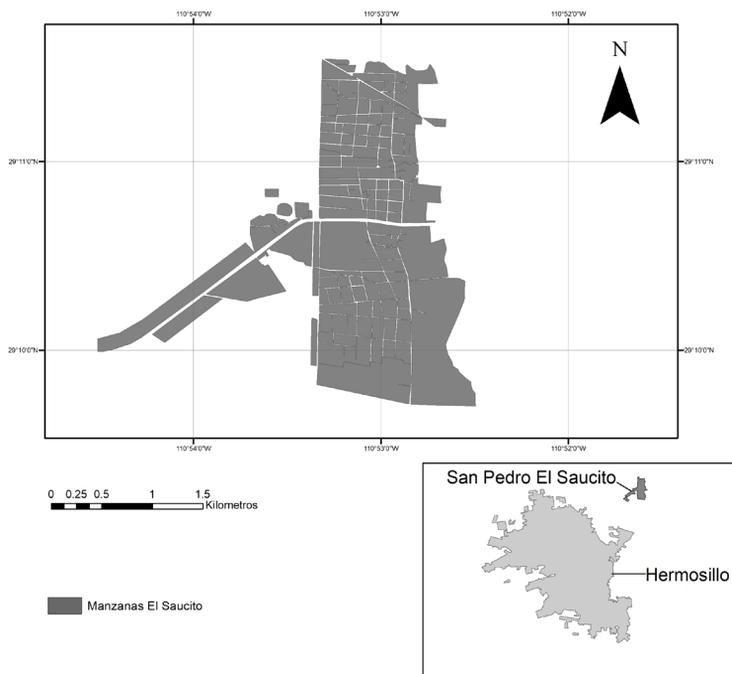


Figura 2. Ubicación de San Pedro, El Saucito. Fuente: Laboratorio de Análisis Socio Territorial.

Su relieve es relativamente plano y el río San Miguel es el cuerpo de agua más cercano, a menos de un kilómetro de la localidad. En el Atlas de Riesgos del Municipio de Sonora (Protección Civil del Estado de Sonora 2014) se le identifica como una de las cuatro zonas más importantes del municipio por sus temperaturas máximas extremas y constantes sequías.

El clima en la localidad de San Pedro El Saucito es muy seco; presenta un rango de temperatura media mensual entre 17 y 34 °C. En un lapso de 11 años (2000 a 2011), 2006 fue el que más precipitación presentó, con un total de 569 mm, mientras que en 2001, 2009 y 2011 se registraron los datos más bajos (IMTA s.f.).

Asimismo, ha disminuido la actividad agrícola, lo cual está ligado a las sequías o escasez de agua. Se presenta un aumento

de pastizales, los cuales son normalmente aprovechados para el uso de ganado y fauna silvestre. Las zonas de matorral, mezquite y la agricultura se han modificado a uso urbano y a pastizal, así 70.77% es suelo urbano, 28.65% mezquital y 0.57% agrícola. La distribución de las unidades económicas registradas a finales de diciembre de 2017 apunta al comercio como la actividad más practicada con 34%, seguida de los servicios de alimentos con 22% (Inegi 2017).

La población total de San Pedro El Saucito corresponde a 3 366 habitantes, de los cuales 50.7% son hombre y 49.3% mujeres. La cantidad de personas por rango de edades son los siguientes: 23.9% va de 0 a 14 años, 68.6% tiene entre 15 y 64 años y 7.5% está entre los 65 años o más. De la población que tiene más de 15 años, se reporta que 0.007% es analfabeta. Por otra parte, el grado promedio de escolaridad corresponde a 9.5 años (Inegi 2020).

### **Metodologías y resultados**

Durante nuestra investigación, que tuvo una duración de dos años y medio, elaboramos con cada comunidad cuatro talleres participativos. Nuestro primer acercamiento en ambas comunidades se dio a partir de la búsqueda de las autoridades locales encargadas de enfrentar situaciones de desastres. En el caso de Progreso fuimos atendidos por Protección Civil, mientras en San Pedro El Saucito establecimos contacto con la Procuraduría Ambiental del Estado de Sonora (Proaes), en Hermosillo. Ambas autoridades mostraron, desde el primer momento, un interés especial en colaborar con nosotros y fueron una parte clave en la invitación a la comunidad a participar en los talleres, así como de conocer e implementar medidas para la adaptación al CC.

El primer taller en ambas comunidades consistió en llevar a la práctica una metodología de participación y deliberación probada por la Comisión Nacional de Áreas Protegidas de México (Conanp-GIZ 2014) con la finalidad de conocer y reconocer la importancia de las percepciones sociales sobre CC (Soto y Alfie

2019). Este enfoque identifica y evalúa cinco dimensiones de la vulnerabilidad a partir de las percepciones de la comunidad en referencia al cambio climático. Estas dimensiones se definen a partir de las interrelaciones entre las estrategias de vida de los pobladores y los ecosistemas que los albergan y se engloban en estrategias de vida, bienestar, capacidad adaptativa de personas y hogares, capacidad adaptativa de la comunidad y gobernanza (Ulrich *et al.* 2015). Estas estrategias se analizan dentro de un contexto de cambio climático que ha modificado los sistemas naturales y, en consecuencia, los servicios ecosistémicos que éstos proveen y que pueden provocar que las comunidades modifiquen sus estrategias de vida para adaptarse a las nuevas condiciones.

Así, este primer análisis se enfocó en encontrar información sobre la sensibilidad de las comunidades y su capacidad para adaptarse. Para esto el primer taller se efectuó a través de cuatro fases; en la primera se registraron los peligros que afectan a la comunidad, en la segunda se identificaron los pobladores que se consideran de mayor vulnerabilidad, como tercer punto se determinaron las actividades productivas que se ven afectadas por eventos climatológicos extremos (principalmente los que producen inundaciones), para finalmente enumerar y describir los mecanismos de adaptación implementados por la comunidad.

En el contexto de las Ciencias Sociales, hoy es pertinente y fundamental hablar sobre las percepciones que las comunidades tienen sobre el CC y la forma en cómo éste ha permeado y transformado su vida (desde sus propias actividades económicas hasta sus relaciones sociales o su vínculo con su entorno). Es decir, hablar de una nueva cultura ambiental, con valores y comportamientos que pueden abordarse en un estudio sistemático de las llamadas percepciones sociales. Como apunta Lefebvre (1991), la relación existente entre el ser humano y su ambiente es reflejo de sus percepciones ambientales.

◇ **Cartografía participativa en Progreso, Yucatán**

Con la finalidad de obtener información que soporte los esfuerzos de reducción de la vulnerabilidad y el manejo de riesgos ante eventos hidrometeorológicos extremos exacerbados por el CC e involucrar a la comunidad en el proceso de toma de decisiones, instrumentamos un ejercicio de cartografía participativa en Progreso, Yucatán, comunidad sujeta al embate regular de ciclones y tormentas tropicales que producen inundaciones.

El ejercicio de cartografía participativa permitió obtener información de primera mano de las comunidades sobre las zonas de mayor afectación, las áreas de refugio y de evacuación en casos de emergencia, así como de la ubicación de las actividades que llevan a cabo de forma individual o colectiva sus habitantes; aquellas que se propone iniciar por ellos mismos o por las autoridades encargadas del manejo de riesgos, y la reducción de la vulnerabilidad, a partir de la elaboración de un mapa.

Como base cartográfica para que los participantes se ubicaran dentro de su comunidad y localizaran la información arriba descrita se empleó una impresión tamaño poster de imágenes de satélite de alta resolución espacial –Google Earth©, Image© 2017 Digital Globe– (Figura 3). Siguiendo a Canevari-Luzardo *et al.* (2015), el mapa y la información adicional generada en este primer taller fue revisada por expertos en el tema, que en este caso estuvieron representados por el encargado de protección civil del municipio de Progreso y por un investigador que ha trabajado el tema de riesgo a inundaciones en el municipio. Cabe resaltar que este ejercicio permitió a los participantes en el taller (quince personas –ocho mujeres y siete hombres con edades entre los 24 y los 65 años–) ser conscientes de su conocimiento espacial, su exposición al riesgo, la vulnerabilidad a la que se enfrentan y las afectaciones por peligros hidrometeorológicos, así como generar propuesta de adaptación de manera conjunta y deliberativa frente al CC.

El equipo de investigación entregó a la comunidad y a las autoridades un reporte de los resultados obtenidos. El eje de este análi-

sis mostraba los resultados de la participación y deliberación de la comunidad frente a las medidas de adaptación al CC y sus vulnerabilidades, así como las posibilidades del empoderamiento y la generación de redes de acción, para iniciar la discusión y negociación con las autoridades encargadas del manejo de riesgos y la reducción de la vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos extremos. El proceso de generación de mapas participativos fue un mecanismo que permitió involucrar en la toma de decisiones a la comunidad y facilitó la coordinación y el diálogo con las autoridades. Además, se generó un nuevo espacio de conocimiento y diálogo al incorporar propuestas nacidas desde abajo y discutidas ente autoridades, comunidad e investigadores lado a lado (Alfie 2015).

#### ◇ **Resultados**

A partir de la cartografía participativa, la comunidad de Progreso que acudió a los talleres coincidió en señalar varios aspectos que los hacen vulnerables al CC, entre ellos cabe señalar un constante problema de residuos sólidos urbanos que son arrojados a la Ciénega y su depósito clandestino en calles aledañas, lo cual provoca que frente a lluvias intensas se generen inundaciones, pues la basura impide el desalojo del agua. Ante esto, propusieron la limpieza de las calles mediante campañas comunitarias y concientización conjunta, la construcción de una barda que impida arrojar los desechos a la Ciénega y la colocación de cámaras para detectar a los infractores.

La segunda propuesta fue la construcción de ductos de desagüe esencialmente en las cercanías a la Ciénega y la limpieza de los pozos de recolección que están situados en las zonas de vivienda (pues la ciudad no cuenta con un sistema de drenaje con tuberías que conduzcan el agua), así como la construcción de banquetas altas al pie de las casas que impida la entrada del agua a las mismas, pues algunas construcciones, sobre todo las cercanas a la Ciénega, son muy frágiles, ya que están construidas con materiales de recolección, láminas, cartón, etcétera.

Frente a la llegada de ciclones, plantearon la necesidad de la construcción de un arrecife artificial para la protección de la playa y la contención de mareas altas. Además del alzamiento de una valla al lado del manglar para impedir que los cocodrilos ingresen a la ciudad desde la laguna adyacente en los eventos de inundación (Figura 3).

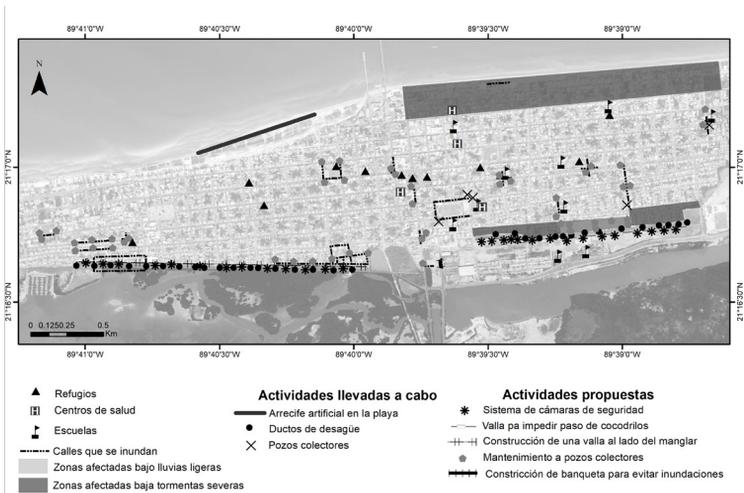


Figura 3. Sistema de información geográfica participativo en Progreso, Yucatán. Fuente: Laboratorio de Análisis Socio Territorial.

Con respecto a las medidas de adaptación, se puede distinguir que la comunidad de Progreso refiere la necesidad de construcción de refugios dentro de su zona, pues en casos de emergencia son trasladados a la ciudad de Mérida. Cabe mencionar la propagación de enfermedades por vector que son producto de las charcas provocadas por las inundaciones y que son combatidas por el municipio con campañas de fumigación y eliminación de cacharros. Sin embargo, el dengue, zika y chikungunya son enfermedades que afectan de manera constante a la población.

En la actualidad, “El Corchito” es una reserva ecológica recuperada que funciona para fomentar el turismo responsable y ha permitido restaurar parte de la Ciénega, su fauna (flamencos, aves, crustáceos, moluscos y reptiles) y flora, así como dos cenotes que son una fuente de ingresos para la población, pues funciona a partir de una cooperativa. Un asunto relevante es el auge de actividades comerciales en la zona, que ha desplazado a la pesca (refrigeración y empaçado) debido a las condiciones de variación climática y al auge del turismo.

En relación con la puesta en marcha de la gobernanza del riesgo, la población participó y deliberó sobre las condiciones climáticas, sus vulnerabilidades y sus capacidades para adaptarse al CC, pero sobre todo generó un espacio de diálogo con las autoridades de Protección Civil que empezaron a realizar las acciones propuestas en los talleres. Así, la valla contra cocodrilos, las campañas de descacharre, fumigación y el desazolve de pozos se empezaron a poner en marcha. De la misma manera, las campañas contra la tira y quema de residuos sólidos urbanos (RSU) dieron buenos resultados. Sin embargo, la salida del jefe de Protección Civil municipal, por el término de su periodo, dejó pendientes muchos de los asuntos que se trabajaron en los talleres. La apuesta de nuestro equipo de investigación es que estos ejercicios de toma de decisiones conjuntas, llamadas lado a lado, haya dejado una semilla que pueda germinar en el corto y mediano plazo, frente al riesgo-desastre.

◇ ***El Método Q en San Pedro El Saucito, Hermosillo-Sonora***

En el ejido San Pedro El Saucito se utilizó el Método Q (MQ) para conocer las preferencias de adaptación ante el riesgo de sequía debido al CC. El MQ para Vallejo (2003) combina elementos, tanto de la investigación cualitativa como cuantitativa y en algunos casos establece un puente entre las dos. El propósito del MQ intenta entender la conducta humana en comunidad, mediante el uso de herramientas estadísticas. Este método es un instrumento que

muestra las ideas en común sobre un tema o problemática y resulta útil al evaluar procesos de participación (Danielson, Tuler y Weblert 2007). Para Brown, Durning y Selden (2008), el MQ se caracteriza por su análisis de la subjetividad a partir de las opiniones, posturas y aspectos relacionados a la conducta de las personas. Se enfoca en la clasificación de grupos a partir de tarjetas denominadas “clasificaciones Q, órdenes Q o *Q-sorts*”. Las respuestas dadas en los *Q-sorts* se correlacionan y forman grupos de preferencias.

En nuestro ejercicio se entrevistaron a 40 personas y se obtuvieron tres grupos de interesados a partir de 36 propuestas de adaptación al CC consultadas en textos y recomendaciones tanto del IPCC (2014) como de expertos en la materia. Estos “*statements*” incluyeron propuestas relacionadas a economía sustentable, uso de tecnologías apropiadas y sistemas eco-sociales.

Las preferencias de las 40 personas y las 36 opciones se catalogaron en tres grupos. El primero se inclinó por una posición más individualista donde destacan las siguientes acciones: capacitar-se para solicitar subsidios para instalar riego por goteo, colocar paneles solares para generar energía y bajar los costos del aire acondicionado, aumentar los sistemas de ahorro de agua para riego agrícola, construir invernaderos e instalar sistemas de captación de aguas de lluvia en la vivienda. Las preferencias definen un interés del grupo ejidatario por recuperar sus actividades tradicionales, principalmente la agricultura por riego.

El segundo grupo se inclinó por acciones de corte más comunitario donde destacan: instalar paneles solares para generar energía y bajar los costos del aire acondicionado; solicitar la mejora de personal y equipamiento de la clínica médica que se encuentra en la comunidad; mejorar e incrementar los espacios públicos; desarrollar planes de acción ante crisis como inundaciones, sequías, plagas, etcétera; organizar talleres de educación para proteger la flora y fauna local, así como usar mejor los recursos locales; construir invernaderos para producir alimentos y reducir el consumo de agua; colocar aparatos ahorradores de agua en regaderas, llaves

e inodoros, y, por último, ubicar contenedores de residuos para reciclaje en espacios públicos. Este grupo tuvo preferencias diversas que generaron importantes expectativas en la comunidad.

Por último, el tercer grupo de trabajo propuso las siguientes acciones: aprovechar residuos orgánicos para producir composta y enriquecer el suelo; sembrar árboles y vegetación en caminos, calles y viviendas, así como reducir ruido y mantener fauna; organizar días de limpieza de las calles y espacios públicos, y enjuagar y separar residuos para reutilizarlos y reciclarlos. Es decir, acciones muy concretas enfocadas a la comunidad y al bienestar general.

#### ◇ **Resultados**

Este caso de estudio muestra las consecuencias de las constantes sequías, las bajas precipitaciones y el aumento de la temperatura. Las propuestas y acciones emprendidas entre la comunidad, las autoridades estatales y nuestro equipo de trabajo facilitaron cinco acciones concretas. En primer término, se “descubrió” una planta de tratamiento de aguas, cuyo remanente podrá otorgarse a la comunidad. El grupo de trabajo de esta investigación, apoyados por Proaes, se dirigió a la Comisión Estatal de Aguas de Sonora para solicitar que ese remanente se quedará en la comunidad. Como segunda propuesta, y a partir de las preferencias señaladas en el MQ, decantamos como una de las prioridades comunitarias el fortalecimiento de infraestructura verde. En este caso, tanto la Proaes como el grupo de investigadores conseguimos 500 árboles donados por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) para reforestar la zona donde varios niños juegan béisbol, y de la comunidad surgió la idea de que cada niño o familia adopte un árbol y lo riegue, a partir del agua remanente de la planta tratadora.

En tercer término, es importante reconocer los lazos de solidaridad existentes en la comunidad (sus miembros conocen su territorio y saben cuáles son sus prioridades frente a la variabilidad climática). Aun cuando en las preferencias el asunto de las celdas solares fue prioritario y acudimos al Fideicomiso para el

Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) de la región para investigar sobre los préstamos y el financiamiento, la zona de El Saucito no entra aún en el polígono de ayuda gubernamental. Lo cierto es que muchos de ellos intentan regresar a la actividad agrícola tradicional y excavar pozos más profundos; esta situación parece casi imposible, pues ahora los grandes cultivos de uva han sido los favorecidos en la obtención de agua, lo cual ha provocado que la comunidad tenga que adaptarse a nuevas actividades económicas, como el cuidado de caballos y la construcción de un corredor turístico que ofrece comida y esparcimiento a lo largo de la carretera que conecta al ejido.

Por último, pero no por ello menos importante, es fundamental fortalecer las redes interinstitucionales, el conocimiento científico y técnico, así como la cultura, los valores y el propio conocimiento local de la comunidad, pues en conjunto se lograron importantes acciones que contribuyeron a construir una gobernanza del riesgo, factor que puede aumentar la adaptación y disminuir la vulnerabilidad frente al CC. Un elemento fundamental fue la entrega del informe a la comunidad para su empoderamiento y búsqueda de soluciones frente a las autoridades encargadas de protección civil y gestión ambiental.

## **Conclusiones**

La adaptación al CC de las comunidades de estudio se ha gestado a partir del conocimiento local y con medidas y materiales que cada familia posee. En ambas localidades, se trata de “aguantar” los embates del CC y tratar de adaptarse mediante técnicas propias: levantar banquetas, construir muros, cavar pozos más profundos para extracción de agua, colocar mayor cantidad de pozos de absorción, modificar actividades económicas, ir dando batalla día con día frente a los cambios vividos... Sin embargo, son pocas las estrategias de resiliencia o fortalecimiento de la comunidad frente a los embates del CC. Aun cuando existe un sistema de alarmas preventivas frente a ciclones o ante tempera-

turas extremas, son escasos los canales de comunicación entre la comunidad y las autoridades responsables, pocos los ejercicios de participación ciudadana en la toma de decisiones y escasas las acciones de prevención de riesgos. Es decir, no existe un diálogo permanente entre autoridades, investigadores y comunidades que aborden la problemática, además de que se siguen utilizando los instrumentos tradicionales de política ambiental.

En ese sentido, nuestro estudio intenta aportar herramientas para fortalecer la gobernanza del riesgo, reducir la vulnerabilidad y proponer estrategias de resiliencia comunitaria. Éstas tienen como finalidad el aumento de la capacidad de adaptación al cambio climático, pues las localidades (por su escala) permiten ejercicios prácticos para fortalecer los lazos comunitarios, los procesos de participación y deliberación en la toma de decisiones y consolidar (a partir del conocimiento local), la cultura y la identidad, así como acciones relevantes que fortalezcan la adaptación al CC (un fin buscado tanto a nivel nacional como internacional). De este modo, la adaptación a partir de la participación de las comunidades abre un abanico de posibilidades donde la gobernanza del riesgo se coloca en el centro del cambio y la transformación.

## Referencias

- ADGER, W. N. 1999. "Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam". *World development*, 27, n.º 2: 249-269.
- ADGER, W. N., N. Arnell y E. Tompkins. 2005. "Successful adaptation to climate change across scales". *Global Environmental Change*, 15: 77-86.
- ALFIE, M. 2015. "Gobernanza en los Países Bajos". *Revista Confines*, 22.
- ANEAS, S. 2000. "Riesgos y Peligros. Una visión desde la Geografía". *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales* 60.

- AYUNTAMIENTO DE PROGRESO. 2015-2018. "Plan de desarrollo municipal de Progreso, Yucatán (2015-2018)". <http://ayuntamientodeprogreso.gob.mx/uthap/wp-content/uploads/2016/07/PLAN-MUNICIPAL-DE-DESARROLLO-PROGRESO-2015-2018-se-esta-modificando.pdf>.
- BARTON, R. J. 2009. "Adaptación al Cambio Climático en la Planificación de Ciudades-Región". *Revista de Geografía Norte Grande* 43: 5-30.
- BROWN, S. 1992. "Q Methodology and Qualitative Research for the Human Sciences". [www.rz.unibw-muenchen.de/~p41hsmk/qmethod](http://www.rz.unibw-muenchen.de/~p41hsmk/qmethod).
- Brown, S. R., D. W. Durning y S. C. Selden. 2008. "Qmethodology". *Public Administration and Public Policy -New York-*, 134: 721.
- CANEVARI-LUZARDO, L., J. Bastide, I. Choutet y D. Liverman. 2015. "Using partial participatory GIS in vulnerability and disaster risk reduction in Grenada". *Climate and Development* 9: 95-109.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS DE MÉXICO-GIZ (Conanp-GIZ). 2014. "Herramienta para analizar vulnerabilidad social a impactos de Cambio Climático en áreas naturales protegidas de México". [http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info\\_shape.htm](http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm).
- DANIELSON, S., S. Tuler y T. Webler. 2007. "Guidance on the Use of Q Method for Evaluation of Public Involvement Programs at Contaminated Sites". *Social and Environmental Research* 41.
- DE SOUSA SANTOS, B. 2007. "Geografia e democracia para uma nova justiça". *Julgar* 2: 109-128.
- DELGADILLO, J. 1996. "Diversas formas de tratamiento de los desastres en el mundo. Aspectos legales e institucionales". En *Desastres naturales*, coordinado por J. Delgadillo, 53-82. México: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.
- DESINVENTAR. 2017. "Desinventar online". <https://www.desinventar.org>.
- ETZIONI, O., K. Golden y D. Weld. 1997. "Sound and efficient closed-world reasoning for planning". *Artificial Intelligence* 89: 113-148.

- FLANAGAN, B. E., E. W. Gregory, E. J. Hallisey, J. L. Heitgerd y B. Lewis. 2011. "A social vulnerability index for disaster management". *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 8: 1-22.
- GAYTÁN, A. A. 2012. *De la ubre al comal. Mujeres, diversificación económica y empoderamiento en San Pedro El Saucito*. México: Universidad Iberoamericana. <http://www.remeri.org.mx/REMERI.JSP?id=oai.tesis.bib.uia.mx015546>.
- GALLOPÍN, G. 2006. "Linkages between vulnerability, resilience and adaptative capacity". *Global Environmental Change* 16: 293-303.
- HEBE, M. 2017. "Marco metodológico para estudios de riesgo y vulnerabilidad social ante el cambio climático", Reporte de Investigación. En *Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático para la Gestión y Planificación Local*. Buenos Aires: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires/Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- INEGI. 2014. *Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación Escala 1:250 000 Serie*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [http://www.Instituto\\_Nacional\\_de\\_Estadística\\_y\\_Geografía.org.mx/geo/contenidos/reccat/usuarios/doc/guia\\_interusuariosuelov.pdf](http://www.Instituto_Nacional_de_Estadística_y_Geografía.org.mx/geo/contenidos/reccat/usuarios/doc/guia_interusuariosuelov.pdf).
- \_\_\_\_\_. 2017. "Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas". <http://www.beta.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>.
- \_\_\_\_\_. 2020. "Censo de Población y vivienda". Acceso el 29 de enero de 2021. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Microdatos>.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA). s.f. "Instituto Mexicano de Tecnología del Agua". <https://www.gob.mx/imta>.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report Summary for Policymakers. Assessment of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

- \_\_\_\_\_. 2014. "Climate Change 2014. Synthesis Report, summary for policy-makers. Intergovernmental Panel on Climate Change". [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf).
- KLEPP, S. y L. Chávez-Rodríguez. 2018. *A critical Approach to Climate Change Adaptation: Discourses, Policies and Practices*. Londres: Routledge Advances in Climate Change Research.
- KLINKE, A. y O. Renn. 2006. "Systemic Risks as Challenge for Policy Making in Risk Governance". *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* 7, n.º 1: 1-20.
- KOOIMAN, J. 2004. "Gobernar en gobernanza". *Revista Instituciones y Desarrollo* 16: 171-194.
- KOTTAK, C. 2011. *Antropología cultural*. México: McGrawHill.
- LAVELL, A. 1996. "Degradación ambiental riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: Hacia la definición de una agenda de investigación". En *Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastre*, compilado por M. A. Fernández, 11-41. Quito: LA RED/USAID.
- LEFEBVRE, H. 1991. *The production of space*. Cambridge: Blackwell.
- MCGINNIS, M. D. y E. Ostrom (2014). "Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges". *Ecology and Society* 19, n.º 2: 30.
- ONU. 1992. "Convención Marco sobre Cambio Climático". [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int).
- \_\_\_\_\_. 2011. "Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD". [www.undp.org](http://www.undp.org).
- PICHÓN, R. 2014. *El Proceso Grupal. Del psicoanálisis a la psicología social*. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión.
- PROTECCIÓN CIVIL DEL ESTADO DE SONORA. 2014. "Atlas de Riesgos del municipio de Sonora". [www.proteccioncivil.gob.mx](http://www.proteccioncivil.gob.mx).
- RAMÍREZ, D. C. 2015. "El análisis de redes en la gobernanza del riesgo de desastres naturales en Colombia", 107-119. <https://www.clubensayos.com/Ciencia/ANALISIS-DE-LA-GESTIÓN-DE-RIESGOS-NATURALES-EN/3977377.html>.

- RENN, O. 2008. "Risk Governance: An Application of Analytic-deliberative Policy Making". En *Handbook of Performability Engineering*, 743-754. Londres: Springer.
- RENN, O. y A. Klinke. 2013. "A Framework of Adaptive Risk Governance for Urban Planning". *Sustainability* 5, n.º 5: 2036-2059.
- SISTEMA METEOROLÓGICO NACIONAL. 2017. "Pronóstico del Tiempo por Municipios". [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx).
- SOTO, G. y M. Alfie. 2019. "Impact of climate change in Mexican peri-urban areas with risk of drought". *Journal of Arid Environments* 162: 74-88.
- ULRICH M., T. Cannon, J. Van Etten, Y. Morimoto, J. Yumbya, E. Kongola, S. Said, J. van de Gevel, A. Newsham, M. Marshall, S. Kabululu, D. Kiambi, D. Nyamongo, D. y C. Fadda. 2015. "Assessing climate change vulnerability and its effects on food security: Testing a new toolkit in Tanzania". Working Paper CGIAR, Research Program for Climate Change and Food Security, CCFS. [www.ccfas.cgiar.org](http://www.ccfas.cgiar.org).
- VALLEJO, N. V. 2003. "La metodología Q: más que una técnica de investigación". *TED: Tecné, Episteme y Didaxis*, n.º 13: 144-153.
- WILCHES-CHAUX, G. 1993. *La vulnerabilidad global. Los desastres no son naturales*. Colombia: Tercer mundo editores.

## **6. El enfoque ecosistémico en la gestión de las aguas subterráneas de la Ciudad de México como estrategia para hacer frente al cambio climático**

Fabiola S. Sosa Rodríguez

### **Introducción**

La protección de las fuentes de agua subterránea se ha convertido en un tema relevante a nivel mundial, debido a la contaminación y agotamiento de éstas a causa del crecimiento demográfico y urbano, el desarrollo industrial, el incremento en la producción agrícola, así como por las variaciones climáticas. En el caso de la Ciudad de México, las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de suministro de agua al proporcionar 47.3% del total del caudal que recibe la capital del país. Esta fuente actualmente se encuentra sobreexplotada: el volumen extraído ( $507.36 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) es casi el doble de la recarga natural ( $279.1 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) (Conagua 2017).

Al no estar visibles las aguas subterráneas, como en el caso de las aguas superficiales, su manejo suele recibir una menor atención, ya que se piensa que son más susceptibles de ser afectadas por los impactos humanos. Sin embargo, una vez que un acuífero se encuentra sobreexplotado o contaminado, se requiere de mucho tiempo para revertir el daño, además de que este proceso es relativamente costoso. El cambio climático, al afectar el

ciclo del agua, tendrá severos impactos tanto en las aguas superficiales como en las aguas subterráneas. Sin embargo, en el caso de la Ciudad de México, éstas constituyen la principal fuente de suministro, y se espera que, como resultado de las variaciones en la temperatura y precipitación a causa del cambio climático, esta fuente sea muy afectada ante una reducción en la recarga de los acuíferos. Asimismo, la disminución esperada en la disponibilidad natural del agua tratará de ser compensada con una mayor extracción de aguas subterráneas, incrementándose la sobreexplotación de esta fuente y, con ello, la subsidencia diferencial del suelo y la movilización de las aguas fósiles de los acuíferos.

Históricamente, la gestión del agua se ha limitado a garantizar el suministro de este líquido a sus diferentes usuarios, simplificando sus objetivos a un problema de cantidad. Por ello, no importaba si se tenía que recurrir a fuentes de agua cada vez más lejanas o sobreexplotar los acuíferos con tal de suministrar a la población con este recurso. Por las limitaciones de esta perspectiva (ya que no toma en cuenta las externalidades de abastecer un consumo de agua creciente, la estabilidad de los ecosistemas naturales, el deterioro de las fuentes de donde se extrae este recurso, ni la calidad del agua que es suministrada a la población) se han desarrollado varias propuestas teóricas con el fin de llevar a cabo una gestión más sustentable de los recursos naturales, incluidos los recursos hídricos.

Una de estas propuestas es el enfoque ecosistémico, el cual reconoce las interacciones que existen entre el sistema ambiental y el humano, por ende, rescata las complejas interrelaciones que coexisten en las prácticas de gestión y la situación que guardan los recursos hídricos. Tanto el sistema de las aguas subterráneas como su gestión constituyen procesos dinámicos y con múltiples interacciones en diferentes escalas que determinan el éxito o fracaso de las estrategias de política. Por ello, este enfoque proporciona un marco de análisis ante el fracaso de las orientaciones convencionales para incorporar las complejas interacciones

humanas-ambientales, con una visión de largo plazo y que tome en cuenta la incertidumbre asociada a los impactos del cambio climático en los recursos hídricos.

La gestión del agua será más sustentable en la medida que exista un conocimiento claro sobre los límites, objetivos, componentes e interacciones del sistema de aguas subterráneas; además de que se lleve a cabo un monitoreo y evaluación sistemática de las respuestas institucionales implementadas, se consoliden instituciones flexibles capaces de implementar una política y gestión de las aguas subterráneas que incorpore el concepto de adaptación, y se incorporen en la toma de decisiones los escenarios de cambio climático y sus impactos en el ciclo del agua.

En general, la gestión tradicional que se ha llevado a cabo de este recurso suele no tomar en cuenta los rápidos cambios demográficos, urbanos, económicos y ambientales que se presentan, lo cual deviene en que las intervenciones para administrarlas son inapropiadas y, por ende, poco exitosas. Lo anterior porque no consideran las variaciones potenciales que se pueden presentar por factores antropogénicos o por variaciones en los principales parámetros climáticos.

Así, las respuestas para hacer frente a los problemas que ponen en riesgo a las aguas subterráneas requieren ser estratégicas, flexibles y capaces de adaptarse a las variaciones del contexto. Por ejemplo, las medidas que algunos grupos de población han implementado para adaptarse a la falta de agua en diferentes regiones del país (ya sea modificando sus actividades productivas a menos intensivas en el uso de agua, cambiando los cultivos en temporadas en donde el agua es escasa o incluso migrando a regiones en donde el acceso al agua no sea una limitante) ponen en evidencia las ventajas y oportunidades que un enfoque adaptativo puede tener para reducir la presión que enfrentan las aguas subterráneas.

Este capítulo explora la aplicación del pensamiento ecosistémico en la gestión de las aguas subterráneas de la Ciudad de México

ante el cambio climático. En un primer momento, desarrolla la gestión ambiental adaptativa como un marco normativo útil para la gestión de las aguas subterráneas en un contexto de incertidumbre. En el segundo apartado, identifica los componentes y elementos que conforman el sistema de las aguas subterráneas. Después, utiliza este enfoque para analizar las decisiones de gestión de la Ciudad de México, así como sus futuras tendencias. Por último, propone algunas recomendaciones para promover una protección eficaz de esta importante fuente de agua, capaces de hacer frente a los impactos del cambio climático.

### **Gestión ambiental adaptativa**

La gestión ambiental adaptativa está basada en el análisis de sistemas, el cual reconoce el carácter dinámico de los sistemas humano y ambiental, la incertidumbre resultante de las acciones humanas y las variaciones en procesos ambientales, así como la existencia de elementos o componentes vulnerables que requieren ser identificados para incrementar la resiliencia del sistema. Es decir, su capacidad para regresar a su estado original después de haber sido alterado.

El enfoque ecosistémico tiene como fin construir las capacidades que requieren los sistemas para responder a eventos inesperados como parte del proceso de planificación y gestión. Bajo esta perspectiva, las políticas y prácticas de gestión son consideradas como hipótesis de trabajo y no como soluciones fijas. Estas hipótesis requieren ser probadas, vigiladas y ajustadas de manera sistemática, junto con las respuestas institucionales para ser capaces de adaptarse a los cambios que se presenten.

Dadas las características actuales en que vive la humanidad, es indispensable adaptar continuamente las decisiones de planificación y gestión al complejo comportamiento y evolución de los sistemas humano y ambiental, en particular al considerar la incertidumbre presente que el cambio climático implica para la toma de decisiones orientada a una adecuada asignación

del agua. Asimismo, es necesario identificar y reconocer las interacciones presentes entre las actividades humanas y el funcionamiento de los ecosistemas, incluidas las aguas subterráneas como parte del ciclo del agua. Dicha gestión debe trascender los límites jurisdiccionales y las funciones de las instituciones gubernamentales, basándose en los ciclos ecológicos y no sólo en los económicos. Las estructuras administrativas actuales siguen un enfoque rígido y de corto plazo, limitado para responder a cambios no esperados o a situaciones de incertidumbre, lo cual ha incrementado la vulnerabilidad del sistema socioambiental, y podrían causar el colapso de alguno de sus componentes (Barriga *et al.* 2007).

Para los enfoques tradicionales de gestión, las fronteras para la planeación se basan en los usos administrativos o en los límites políticos de las entidades sin tener en cuenta las características ni las funciones ecológicas de las aguas subterráneas y, en algunos casos, tampoco su extensión –dividiéndose su administración de acuerdo con las entidades político-administrativas–. Por consiguiente, los objetivos de la gestión de este recurso se han centrado en los usos humanos y beneficios sociales, económicos y políticos que tiene la explotación de este recurso. Las estrategias implementadas se remiten a ser prescripciones técnicas uniformes para todos los acuíferos sin tener en cuenta sus particularidades ni el contexto en que se encuentran. Las decisiones sobre su gestión están centralizadas en vez de involucrar y capacitar a los grupos involucrados en su uso y aprovechamiento, al igual que en la identificación de soluciones viables a las problemáticas que enfrentan.

Dada la naturaleza dinámica de los sistemas de aguas subterráneas y sus interrelaciones con el sistema humano y con el resto de los sistemas ambientales, la gestión adaptativa de esta fuente de agua podría contribuir a su protección y uso sostenible, para lo cual se deben tener en cuenta tres principios: 1) el conocimiento del sistema; 2) el monitoreo y evaluación de las acciones/respuestas, tanto institucionales como sociales, y 3) la

adaptación de la gestión y sus instituciones, que tome en cuenta los diferentes escenarios de cambio climático.

### **Conocimiento del sistema**

¿Por qué es importante conocer el sistema? El conocimiento del sistema que se va a intervenir es trascendental para el éxito de las medidas implementadas. Antes de intervenir es necesario entender cómo funciona, es decir, identificar las fronteras (o límites) físicas y las funciones ambientales como base para su planeación. Asimismo, se requiere conocer sus objetivos, los cuales no sólo incluyen los beneficios económicos y políticos que dicho sistema puede tener, sino también sus funciones ambientales –la gestión con la naturaleza–. Por último, es indispensable determinar los patrones de comportamiento, los componentes del sistema, así como sus interacciones (procesos y funciones) y sus conexiones con el resto del sistema socioambiental; todos ellos responsables de la forma en que opera el sistema y de sus resultados. La comprensión de cómo funciona el sistema permite que trabajemos con él en lugar de en su contra, alcanzando los objetivos esperados (Bánáthy 1996, Folke 2006).

La capacidad de nuestro mundo para satisfacer las necesidades humanas a perpetuidad tiene límites, los cuales dependen de las funciones de los ecosistemas. Las propiedades estructurales y funcionales de las aguas subterráneas (así como del resto de los ecosistemas) cambian en el tiempo ante las variaciones en el contexto (clima, hidrología, geología) y los impactos de las acciones humanas. Por ello, los límites para la gestión de las aguas subterráneas deben abarcar los usos del suelo, el crecimiento demográfico y urbano, las actividades humanas y su intensidad en el uso del agua, así como las variaciones en los procesos ambientales que estén afectando esta fuente de suministro de agua (por ejemplo, las variaciones climáticas y el ciclo del agua). En este sentido, la gestión de este recurso debe basarse en criterios ecológicos y no sólo económicos o políticos, y reconocer que la

salud humana y el suministro mínimo de agua para garantizar su bienestar dependen de la salud de este sistema.

Por lo tanto, la gestión de este recurso debe incluir al sistema de aguas subterráneas completo (acuífero), más allá de su escala y de las unidades político-administrativas que abarque (local, regional, nacional o internacional, cuando son acuíferos compartidos por dos o más países); sólo de esta manera se lograrán capturar las interacciones entre los sistemas humano y ambiental como sistemas complejos e interdependientes, y pasar de una gestión convencional enfocada a un lugar específico a una gestión que rescate la complejidad del ecosistema (Gerlach y Bengston 1994). Asimismo, debe considerar sus interrelaciones con otros elementos que lo definen, por ejemplo, el ciclo del agua y sus diferentes componentes.

### **Monitoreo y evaluación**

El monitoreo y la evaluación sistemática es un requisito para conocer el sistema que se va a intervenir, además de identificar los cambios que se presentan en los componentes, incluyendo las variaciones en los principales parámetros climáticos a lo largo del tiempo (por ejemplo, temperatura o precipitación). En el caso de las aguas subterráneas, su monitoreo y evaluación permanente favorecerán su uso y aprovechamiento sostenible, ya que será posible detectar los efectos acumulativos resultado de actividades humanas y/o procesos ambientales (por medio de modelos hidrológicos y/o geológicos), así como los actores involucrados, sus intereses, conflictos y disponibilidad a colaborar. Mientras más actores participen en el proceso de toma de decisiones, más importante será la interacción entre ellos para obtener consensos y favorecer la coordinación.

El agua subterránea es un sistema dinámico donde diversos factores hidrogeológicos, hidrológicos y climatológicos, junto con sus complejas interacciones, determinan su movimiento y localización. La evaluación precisa de los niveles de recarga y descarga

es una tarea difícil, ya que no hay técnicas disponibles para su medición directa; por ende, existen pocos modelos con una gran capacidad predictiva para los sistemas de aguas subterráneas. La mayoría de los acuíferos en el mundo, incluidos los que se localizan en nuestro país, no se monitorean de manera rigurosa y sistemática. Adicionalmente, los modelos explicativos se basan en una comprensión parcial del sistema de aguas subterráneas, desconociéndose el funcionamiento de éste, y sus interrelaciones con otros componentes y sistemas.

Por consiguiente, la capacidad explicativa y predictiva de dichos modelos es baja, ya que no sólo la precipitación, recarga natural o la extracción determinan la salud y condiciones en que se encuentra las aguas subterráneas. También las variables de tipo social, económico y político –materializadas en los procesos de crecimiento demográfico y urbano, en los patrones de consumo y producción, y en la propia gestión de este recurso– juegan un rol fundamental en la salud y condiciones en que se encuentra esta fuente, ya que éstas representan el impacto de las actividades del hombre sobre el ciclo hidrológico. A ello debe sumarse que se espera que el cambio climático modifique las tendencias actuales en materia de precipitación y temperatura, así como de otros parámetros climáticos, lo cual incrementará la incertidumbre para conocer la recarga real de los acuíferos, en aras de determinar los volúmenes de extracción más sustentables.

El seguimiento y la evaluación de los resultados de gestión no deben basarse en el uso de datos discretos sobre parámetros físicos, químicos o biológicos específicos, sino en los procesos y funciones de los ecosistemas y sus interacciones con el sistema humano (Christensen *et al.* 1996). En general, los impactos humanos y/o ambientales sobre las aguas subterráneas suelen considerarse acumulativos, dado que generan múltiples y sucesivas tensiones (internas y externas) que modifican la cantidad y calidad de agua de esta fuente. Por consiguiente, los impactos que el cambio climático pueda tener sobre el ciclo del agua, au-

nado a los cambios en el uso de suelo, crecimiento demográfico y urbano, modificarán de manera importante el volumen disponible de estas fuentes.

Contar con información veraz, oportuna y disponible en diferentes escalas de análisis constituye un elemento fundamental para dar seguimiento a las condiciones en que se encuentra esta fuente. Sin embargo, no sólo es relevante llevar a cabo un monitoreo de los niveles piezómetros, sino que también la calidad del agua de esta fuente es un tema trascendental, ya que en las últimas décadas la contaminación de las aguas subterráneas se ha convertido en una de las principales preocupaciones a nivel mundial, tanto por los largos periodos requeridos para descontaminar estas fuentes y lo costoso de dicha actividad como por la pérdida total o parcial de las funciones ambientales de estos sistemas. Asimismo, se espera que el cambio climático no sólo afecte el volumen disponible de las fuentes de agua subterráneas, sino también la calidad de éstas, al favorecer la movilización de las aguas fósiles resultado de su sobreexplotación, así como problemas asociados a la intrusión salina ante un incremento en el nivel del mar por el derretimiento de los casquetes polares.

Si bien la comprensión del sistema y la incorporación de las diversas interacciones favorece obtener resultados más precisos para la gestión de las aguas subterráneas, es necesario tener en cuenta que, por la propia naturaleza dinámica de este sistema, algunos resultados de las acciones implementadas serán impredecibles. De ahí la importancia de contar con estrategias de adaptación y con una gestión flexible que permita integrar los impactos del cambio climático en la toma de decisiones.

### **Adaptación**

La adaptación es un proceso continuo que requiere el monitoreo sistemático de la eficacia de las medidas implementadas. Debido a la incertidumbre y a la falta de información para el manejo de las aguas subterráneas ante los escenarios de cambio climático, la

adaptación debe ser un componente central de cualquier estrategia de gestión. La incorporación del principio de adaptación en la gestión implica el reconocimiento de la incertidumbre como parte del proceso para el manejo de las aguas subterráneas, además de la flexibilización de las instituciones gubernamentales o no gubernamentales involucradas en la administración de este recurso. Soluciones programadas que se apliquen a todos los acuíferos de su contexto difícilmente promoverán una gestión capaz de reformular sus objetivos, normas prácticas, así como de vincular la gestión de las aguas subterráneas con la planeación del uso del suelo, el desarrollo urbano y económico, y la planeación ambiental.

A diferencia de la gestión tradicional, en donde se centralizan los poderes públicos para definir los problemas y dictar soluciones, la gestión adaptativa requiere la participación y colaboración responsable de los actores en la definición y el logro de resultados colectivos. El conocimiento ciudadano y su participación responsable en la gestión favorecen la construcción de las capacidades para hacer frente a las amenazas que afectan alguno de los componentes del sistema de aguas subterráneas, lo que reduce la vulnerabilidad de dicho sistema, así como del sistema socioambiental en su conjunto. Detrás de este principio está el reconocimiento del derecho de los gobernados a participar de manera plena en la toma de decisiones que les afectan, así como la necesidad de contar con su apoyo para alcanzar los resultados esperados.

En el enfoque adaptativo no se requiere una comprensión total de la dinámica del sistema y sus interrelaciones para definir estrategias de acción, al tener una mayor capacidad de respuesta a procesos de cambio social y/o ambiental. Esta perspectiva enfatiza que el tipo de gestión depende de la escala de los procesos del sistema y la naturaleza de las interacciones del sistema, ya que los acuíferos no son unidades discretas, sino más bien sistemas dentro de sistemas (por ejemplo, cuencas). A diferencia de otros enfoques de gestión (como la gestión integral), la perspectiva adaptativa no pretende analizar todos los factores presentes

en el sistema para dar una solución, sino sólo aquellos que son las fuerzas que impulsan (*driving forces*) la generación de problemas y sus posibles consecuencias sobre otros componentes del sistema socioambiental. En este sentido, la gestión adaptativa es el enfoque que mejor rescata las variaciones que el cambio climático pudiera tener sobre el ciclo del agua y, por ende, sobre la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas.

Mientras que en la gestión tradicional las autoridades responden a las problemáticas del agua por medio de intervenciones relacionadas con este recurso, en la gestión adaptativa las problemáticas que afectan las aguas subterráneas no se circunscriben exclusivamente a estrategias asociadas con el agua, sino que también incluyen medidas que modifican la dinámica social, económica e incluso ambiental. Es decir, la gestión adaptativa define diversos tipos de intervenciones gubernamentales en vez de sólo controlar el uso de las aguas subterráneas (Moench y Burke 1998). En este sentido, la gestión adaptativa puede favorecer un desarrollo sustentable, al traer consigo beneficios en otros ámbitos de la vida pública –al reducir la pobreza, promover la preservación de los recursos naturales y favorecer un desarrollo económico más amigable con el ambiente.

Bajo este contexto, la gestión adaptativa se enfoca en la flexibilización tanto de las instituciones como de las prácticas de gestión de las aguas subterráneas para que éstas sean capaces de responder a la incertidumbre, a los cambios sociales y ambientales, a la falta de información, y a la ausencia de una comprensión total de los sistemas y sus interacciones. La implementación y el ajuste de las prácticas de gestión efectivas para hacer frente a los problemas que emergen de las aguas subterráneas son un tema esencial, dada la relevancia que tiene este recurso para abastecer a la población con agua, como por sus funciones ambientales, al ser parte del ciclo del agua. Con este fin, es necesario repensar nuevos enfoques para manejar las aguas subterráneas que incluyan el desarrollo de estrategias de adaptación para incrementar

la resiliencia del sistema socioambiental ante los potenciales impactos del cambio climático.

## Las aguas subterráneas como sistemas

### ◇ *Las aguas subterráneas: un componente del ciclo del agua*

Las aguas subterráneas, al ser parte del ciclo hidrológico, tienen un papel fundamental en la preservación de la salud de los ecosistemas, además de ser una de las fuentes más importantes de suministro de agua para la población mundial. El ciclo hidrológico constituye un complejo sistema natural que se encarga de la circulación del agua por todo el planeta determinando su disponibilidad natural en las diferentes ubicaciones geográficas. Al interactuar con otros sistemas naturales responsables del clima, la circulación atmosférica y las corrientes oceánicas, apoya la distribución de nutrientes, la transferencia de energía y los cambios climáticos. Ello contribuye a mantener la superficie del planeta más fría y la atmósfera más caliente.

El ciclo hidrológico, también conocido como “ciclo del agua”, se inicia con la evaporación del agua de los océanos por el calentamiento proveniente de la radiación solar. El vapor de agua, al ser menos denso que el aire, asciende a la atmósfera en donde se enfría y se condensa formando grandes masas de nubes que se mueven por el globo terráqueo impulsadas por el sistema de vientos globales (circulación atmosférica). Al condensarse el vapor de agua, se precipita como lluvia (fase líquida del agua), nieve o granizo (fase sólida), lo que forma o alimenta arroyos, ríos y lagos (escorrentía superficial), que finalmente se descargan en el mar iniciándose de nuevo este ciclo. La escorrentía transporta los sedimentos erosionados de los suelos a los cursos de agua, lo que favorece el transporte de nitrógeno.

No toda la lluvia, nieve o granizo alimenta el caudal de las fuentes superficiales de agua; una proporción importante regresa a la atmósfera por medio de la evaporación de los lagos

y ríos, de la humedad del suelo y como producto de la transpiración de las plantas. Otra parte es retenida por la vegetación, los campos de cultivo, edificios y/o carreteras. El resto penetra la superficie del terreno por poros y fisuras del suelo o rocas hasta las zonas saturadas (escorrentía subterránea), ya sea filtrándose hasta los acuíferos para convertirse en aguas subterráneas o regresando a la atmósfera por evapotranspiración. Aunque la precipitación es la principal fuente de recarga de las aguas subterráneas, éstas también pueden ser alimentadas con los cauces de ríos, lagos y embalses. Por ello, la preservación de la cubierta forestal de las áreas de recarga es un tema de gran relevancia para la protección de los acuíferos, no sólo porque permite mantener el equilibrio de los niveles freáticos, sino porque también previene la contaminación de las aguas subterráneas (Freeze y Cherry 1989). Los acuíferos son una formación geológica que contienen las aguas subterráneas y, a su vez, permiten que éstas fluyan –propiedad conocida como “conductividad hidráulica”–. Las aguas subterráneas no son sistemas estáticos; éstas pueden evaporarse cuando el nivel saturado está próximo a la superficie del terreno, pueden alimentar ríos y manantiales o descargarse de manera directa en el mar cuando los acuíferos se encuentran cerca de las costas.

Los sistemas de agua subterráneas poco profundas, cubiertas por material permeable, pueden ser vulnerables a la contaminación que resulta de los efectos individuales y acumulativos de las actividades humanas. Su vulnerabilidad radica en el potencial de los contaminantes de la superficie a emigrar y filtrarse cerca de los niveles freáticos, en donde pueden extenderse lateralmente y hacia abajo –dependiendo de sus características específicas y las condiciones hidrogeológicas–, y con ello contaminar esta fuente de agua. Una vez contaminadas las aguas subterráneas, su tratamiento puede tardar muchos años, además de que es muy costoso. Los sistemas de agua subterráneas cubiertos por materiales menos permeables también pueden ser vulnerables a la contaminación si presentan fisuras y/o fracturas, las cuales ofrecen vías

para que los contaminantes se muevan de forma rápida hacia abajo (Freeze y Cherry 1989, Foster *et al.* 2002). En este sentido, la adecuada comprensión del comportamiento y las características de la formación de las capas de roca que cubren los acuíferos es esencial para su gestión sustentable.

◇ ***Cambios en el ciclo del agua: impactos directos e indirectos sobre las aguas subterráneas***

Las aguas subterráneas son sistemas abiertos, cuyos cambios en sus componentes (por ejemplo, conductividad hidráulica, porosidad, y capacidad de almacenamiento) o en su entorno modifican su equilibrio (impactos internos). No sólo los impactos directos pueden modificar la calidad y cantidad de esta fuente, también los impactos indirectos resultado de los cambios en el ciclo del agua, que incluyen los cambios en el volumen y distribución (espacial y temporal) de las precipitaciones, en la temperatura, en la intensidad y dirección de los vientos, y en la transpiración de las plantas por la deforestación. Por este motivo, la gestión de las aguas subterráneas requiere tener en cuenta los componentes naturales y antrópicos que afectan directa e indirectamente a esta fuente.

En general, los impactos directos que modifican la cantidad y calidad de las aguas subterráneas son resultado de la intervención del hombre en el equilibrio del sistema de aguas subterráneas. La extracción intensiva de las aguas subterráneas en tasas superiores a su capacidad de recarga no sólo está provocando el agotamiento de esta fuente, sino también hundimientos diferenciales en el suelo y la contaminación de los acuíferos con la mezcla de aguas fósiles localizadas al fondo de los acuíferos. Además, el desarrollo urbano está invadiendo las principales zonas de recarga de los acuíferos, lo que reduce las superficies permeables y altera el proceso de recarga.

Asimismo, los cambios en el uso de suelo han incrementado la deforestación de las áreas que tienen cobertura vegetal, disminuyendo la retención de las precipitaciones por la falta de vegetación

e incrementado la intensidad y velocidad de los escurrimientos superficiales, lo que provoca una mayor erosión del suelo, arrastre de sedimentos e inundaciones. Por último, las aguas subterráneas enfrentan la amenaza de ser contaminadas por los desechos municipales e industriales (basureros), el uso de pesticidas en las actividades agrícolas, la intrusión de agua de mar, las actividades mineras, la presencia de tuberías rotas o dislocadas que transportan aguas residuales, los productos derivados del petróleo u otras sustancias tóxicas, y de las variaciones en la temperatura y la precipitación por el cambio climático. Bajo este contexto, es necesario tomar acciones ante la falta de una gestión de las aguas subterráneas que tome en cuenta las interacciones entre los componentes del sistema socioambiental, así como las consecuencias de los diversos cursos de acción que han contribuido al deterioro en cantidad y calidad de esta fuente, así como a su sobreexplotación.

En el caso de los impactos indirectos que afectan las aguas subterráneas como resultado de las alteraciones en el ciclo del agua, destaca el desarrollo urbano y el crecimiento poblacional, los cuales han contribuido a acelerar el calentamiento del planeta, creando un círculo vicioso en donde un aumento en la temperatura acelera aún más el ciclo hidrológico.

El crecimiento de las ciudades ha incrementado la pérdida de cobertura forestal, lo que afecta al ciclo del agua al reducir la capacidad de retención del agua y alterar los procesos de circulación de este líquido, y modifica la evapotranspiración, la infiltración y recarga, los niveles de escorrentía superficial y subterránea, y la precipitación. Todos estos cambios han devenido en un incremento en la temperatura, y dichos incrementos pueden tener diferentes consecuencias en el ciclo del agua. Por un lado, una atmósfera más cálida retiene más humedad y produce más precipitaciones en forma de lluvias torrenciales; al mismo tiempo acelera la evaporación (de océanos, mares, ríos y lagos) y la transpiración de las plantas. Dada la inestabilidad resultante de la ruptura del equilibrio del ciclo del agua, el efecto neto de es-

tos cambios puede ser una disminución en la cantidad y calidad del agua disponible en algunas regiones, que puede devenir en prolongados periodos de sequías, amenazando la producción de alimentos y la satisfacción de las necesidades mínimas de este recurso. Por otro lado, al modificarse el sistema de circulación atmosférica (viento) producto de los cambios en la temperatura y evaporación, la trayectoria de las tormentas puede también modificarse, y favorecer la concentración de grandes masas de nubes en ciertas regiones (IPCC 2018) que, al condensarse, provocarían intensas lluvias, y numerosas inundaciones. Lo anterior podrían deteriorar la calidad del agua subterránea al filtrar contaminantes provenientes de las aguas residuales, de los campos agrícolas o de basureros (domésticos e industriales) hacia los acuíferos. Una mayor temperatura y precipitaciones pueden aumentar la contaminación de las fuentes de agua al incrementar el arrastre de sedimentos por las escorrentías; dichos sedimentos pueden contener pesticidas, microorganismos patógenos (virus, bacterias y protozoarios) y otros compuestos contaminantes.

Ahora bien, ya han sido registrados cambios en el ciclo del agua desde fines de la década de 1960 con un incremento en las precipitaciones en el hemisferio norte durante la estación cálida y con una reducción de éstas en los subtrópicos y trópicos, donde se presentan sequías más intensas y prolongadas. Se estima que el deshielo de las reservas de agua almacenadas en glaciares y nieve aumentará los niveles de los océanos, y contaminará varios acuíferos como resultado de la intrusión de agua de mar y, con ello, se reducirá aún más la disponibilidad de agua dulce para el consumo humano y la preservación de los ecosistemas (IPCC 2018). Ante esta situación, una gestión enfocada en la creación e implementación de medidas de adaptación es crucial. Sin embargo, dichas prácticas de gestión deben estar orientadas a no alterar el ciclo hidrológico ni el equilibrio de las aguas subterráneas ya que, de continuar las actuales prácticas de gestión, es muy probable que se incremente la vulnerabilidad de más personas y ecosistemas.

Afrontar los retos de atender la demanda de agua de la población ante una situación restringida de disponibilidad y ante la incertidumbre de las consecuencias del cambio climático sobre los recursos hídricos exige la consolidación de capacidades adaptativas institucionales y sociales, así como la participación activa de la población para apoyar la creación de dichas capacidades. Sólo por medio de una participación más activa de la sociedad, la población podrá ampliar su conocimiento sobre las condiciones en que se encuentran los recursos hídricos –incluyendo las aguas subterráneas– y tomar las mejores decisiones para su gestión sustentable.

### **La gestión del agua en la Ciudad de México como ecosistema y sus efectos acumulativos**

La Cuenca de México ha sido profundamente transformada. Desde la fundación de Tenochtitlán, múltiples prácticas de gestión se han implementado, las cuales no han contribuido a la sustentabilidad de la ciudad. Si bien han reducido algunos de los riesgos a los que han estado expuestos sus habitantes, también han generado nuevos riesgos al no tener en cuenta los futuros cursos de acción que dichas prácticas pueden tener.

De manera natural, esta cuenca era una unidad hidrológica cerrada, el derretimiento de los glaciares que formaban parte de su morfología, las precipitaciones y los escurrimientos favorecieron la formación de un sistema de seis lagos interconectados con un área estimada de 100 km<sup>2</sup>. En el centro estaba el lago de México, al norte los lagos de Zumpango y Xaltocan, al este el lago de Texcoco, y al sur los lagos de Xochimilco y Chalco, que en época de lluvias se unían formando uno (Gutiérrez de MacGregor, González y Zamorano 2005). Este complejo sistema hídrico era regulado por el acuífero regional de la Cuenca de México: en época de lluvias absorbía el exceso de agua formando manantiales a las orillas de los lagos, y en época de sequía, al reducir sus niveles freáticos, disminuía el tamaño de los lagos y de los manantiales. La dimensión que alcanzaba este acuífero se estima en 3 450

km<sup>2</sup> –casi una cuarta parte de su superficie estaba cubierta por capas de arcilla poco permeables; mientras que el resto, sobre todo en las zonas de recarga, eran muy permeables (Academia de la Investigación Científica 1995).

El régimen hidrológico de la cuenca comenzó a ser severamente modificado a partir de la conquista de Tenochtitlán, iniciándose una larga batalla para controlar los recursos hídricos que perdura hasta nuestros días. Esta batalla se ha caracterizado por una profunda transformación del entorno natural de la Cuenca de México, mediante la construcción de colosales obras de infraestructura hidráulica para dotar a los habitantes de la ciudad con más agua, disponer sus aguas residuales y evitar las inundaciones catastróficas que con frecuencia la afectaban. El resultado fue una profunda modificación del equilibrio hidrológico y del ciclo del agua, el cual ha repercutido en la calidad y cantidad de las precipitaciones, escorrentía superficial, recarga natural, así como en las aguas superficiales y subterráneas (Sosa-Rodríguez 2010a).

En la actualidad, la Cuenca de México tiene cuatro salidas artificiales (el canal de Huehuetoca, el Gran Canal de Desagüe, el segundo túnel de Tequixquiac y el Drenaje Profundo). Cuando se finalice la construcción del Emisor del Oriente, esta cifra ascenderá a cinco. Del conjunto de lagos que existían en su zona lacustre, sólo queda una pequeña parte del lago de Texcoco y algunos canales en Xochimilco; la mayoría de los ríos están entubados y los pocos que no se encuentran en esta situación se usan como receptáculo de aguas residuales y basura. Prácticamente las áreas verdes han sido sustituidas por la mancha urbana, lo que reduce a menos de la mitad la capacidad de recarga natural de los acuíferos de esta cuenca; incluido el acuífero Valle de México.

La gestión adaptativa constituye una herramienta útil para hacer frente a los numerosos cambios que en la actualidad enfrenta la Ciudad de México con relación a sus recursos hídricos, condiciones ambientales, desarrollo urbano y patrones climáticos. Si se tiene en cuenta que el sistema de aguas subterráneas es

un sistema complejo (el cual interactúa de manera dinámica con el sistema humano y los otros sistemas ambientales) es posible evaluar las decisiones de gestión que se han implementado a lo largo de la historia, junto con su racionalidad, si se hacen mapas de las prácticas de gestión implementadas y sus consecuencias sobre los componentes del sistema. La visualización de dichos mapas puede clarificar las tendencias del sistema de aguas subterráneas de continuar los mismos mecanismos y prácticas de gestión, además de identificar en qué parte del ciclo se debería intervenir para corregir aquellas prácticas poco sustentables, sobre todo al considerar los impactos del cambio climático para estas fuentes de agua.

### **El inicio de la transformación**

Antes de la conquista de Tenochtitlan, el agua era un elemento predominante en el sistema y constituía la base de la civilización azteca. La diferencia en los niveles de los seis lagos los convertía en vasos comunicantes, por ende, cuando existían fuertes lluvias el agua fluía a través de los lagos hacia la zona lacustre donde se localizaba el lago de Texcoco. A tan sólo un metro de altura del lago de Texcoco se encontraba el lago de México, estando expuesta la ciudad de Tenochtitlán a inundaciones de manera permanente. De hecho, esta ciudad fue devastada varias veces como resultado de inundaciones y sequías; motivo por el cual, los aztecas diseñaron un complejo sistema de acequias, diques, albarradones, calzadas y acueductos para aumentar su control sobre los recursos hídricos de su entorno (Ezcurra 1990). Por ejemplo, para abastecer con agua a la ciudad, los aztecas construyeron varios acueductos que transportaban agua desde los manantiales de Chapultepec, Coyoacán y Churubusco (Ezcurra 1990). Asimismo, para evitar que el agua dulce de los lagos se mezclara con las aguas salobres del lago de Texcoco haciéndolas no aptas para beber y reducir la incidencia de devastadoras inundaciones, construyeron diques, compuertas, acequias y albarradones (Musset 1992).

Durante la Conquista, la infraestructura hidráulica azteca fue destruida exponiendo a la nueva Ciudad de México edificada sobre las ruinas de Tenochtitlan –ahora la capital de la Nueva España– a devastadoras inundaciones y a la falta de agua (Ezcurra 1990, Lombardo de Ruiz 2000). Las autoridades consideraron que para garantizar la salud y bienestar de la población era indispensable construir un sistema de drenaje que extrajera el exceso de agua de la Cuenca de México, ya que pensaban que el agua que está estancada (por ejemplo, los lagos) era “agua muerta”, por ende, insalubre y capaz de generar enfermedades. Asimismo, la mayoría de las inundaciones eran provocadas por el desbordamiento de los lagos, represas y diques (Ezcurra 1990).

La decisión de desecar los ríos y lagos aceleró el abatimiento del acuífero regional que regulaba el equilibrio hídrico de este sistema y, con ello, el hundimiento de la ciudad. Aunque se esperaba que con dichas obras se redujeran las inundaciones y la exposición a riesgos a la salud por enfermedades de origen hídrico, la ciudad fue devastada por catastróficas inundaciones en 1555, 1580, 1604, 1606, 1607 y 1629 (Lombardo de Ruiz 2000). Esto motivó el diseño de nuevos proyectos hidráulicos que alterarían más el ciclo del agua y el equilibrio hidrológico de la Cuenca de México.

Por otro lado, el crecimiento de la población provocó que el agua suministrada por los manantiales de Chapultepec, Coyoacán y Churubusco ya no fuera suficiente para satisfacer la demanda, iniciándose la excavación de pozos artesianos para complementar el volumen abastecido. En 1847 se perforó el primer pozo en el centro de la ciudad, y en menos de dos décadas, esta cifra aumentó a 200 (Tortolero 2000). Con esta medida se redujo la dependencia de la capital a fuentes de agua externas, pero se aceleró el hundimiento del suelo –el cual se había atribuido a la extracción del agua fuera de la cuenca por la desecación de los lagos–. Asimismo, la mayoría de la población carecía de medios seguros para disponer sus excretas, enfrentando riesgos a la sa-

lud por la falta de saneamiento y la contaminación de las fuentes superficiales de donde se extraía agua.

El crecimiento poblacional junto con las malas prácticas de gestión, trajeron consigo la intensificación de riesgos previamente existentes (por ejemplo, inundaciones), así como la generación de nuevos riesgos (como el hundimiento del suelo), lo que creó círculos viciosos cuyas consecuencias negativas amenazan la sustentabilidad de la ciudad en la actualidad.

Fue hasta el gobierno de Porfirio Díaz (1877-1911) cuando se construyeron las primeras obras hidráulicas de gran envergadura. La construcción del Gran Canal, con un costo superior a los 10 millones de pesos, se inauguró en 1900. Esta obra se consideró una de las más importantes del siglo XIX, ya que se esperaba que evitara devastadoras inundaciones. El Gran Canal consistía en un canal a cielo abierto y varios túneles que desalojarían el exceso de agua de la ciudad hacia al río Tula, y posteriormente al río Pánuco para depositarlas en el mar (Perló 1999). Durante la construcción del Gran Canal, el lago de Chalco y el lago de Texcoco fueron desecados, y con la extracción masiva del agua de los lagos y ríos se aceleró el hundimiento del terreno de la ciudad. Asimismo, las aguas residuales que eran extraídas no recibían ningún tratamiento previo a su disposición, lo que disminuyó la calidad de los caudales que se han empleado desde esa época para el riego de vegetales y cereales en los valles de México y del Mezquital. Este tipo de prácticas agrícolas han aumentado los riesgos a la salud tanto de la población que consume los alimentos regados con aguas crudas como de los agricultores que los cultivaban; además de que se generaron riesgos ambientales derivados de la contaminación del suelo, y de las aguas superficiales y subterráneas (Romero 1994, Sosa-Rodríguez 2010b).

Debido a la creciente demanda de agua por el crecimiento de la ciudad, se inició la importación del líquido, proveniente de los manantiales de Santa Fe, Río Hondo, Cuajimalpa, Tlalpan, San Ángel, Guadalupe y Desierto de los Leones. Este caudal fue

complementado con la explotación de pozos artesianos, cuya excavación se aceleró superando los 1 100 pozos para fines del siglo XIX. De esta manera, los riesgos asociados a la dependencia a fuentes externas y los que se derivan del hundimiento del terreno se incrementaron durante esta época. Las autoridades siguieron buscando nuevas fuentes para dotar de agua a la capital del país, por lo que estudiaron la posibilidad de importarla desde los manantiales del Lerma o de Xochimilco. Por su cercanía, en 1903 se decidió que se transportaría de la segunda fuente mencionada. Desde esa fecha, las aguas subterráneas han sido la fuente más importante de agua para la capital del país, al suministrar más de 40% del caudal consumido. Gracias a los avances en la medicina, la percepción que había dominado sobre el agua como algo insalubre y peligroso fue transformada, poniéndose en evidencia que la salud estaba íntimamente relacionada con la calidad y cantidad de agua que recibían las personas para cocinar, beber y asear sus viviendas.

Si bien las mejoras en la infraestructura hidráulica y los incrementos en el abastecimiento de agua a la población fueron parte de las medidas preventivas implementadas por las autoridades para evitar la propagación de la epidemia del cólera, éstas empezaron a modificar de manera más severa el medio ambiente y, con ello, incrementaron la exposición de la Ciudad de México a riesgos como la mayor dependencia a fuentes externas y el hundimiento diferencial del suelo por la extracción intensiva de las aguas subterráneas. Además, se generaron nuevos riesgos entre los que destacan la contaminación de los cuerpos de agua, el suelo y el aire por la disposición de aguas residuales reutilizadas en el riego de cereales y vegetales, así como la falta de agua en algunas áreas de la ciudad. A partir de este periodo, la gestión del agua ha estado basado en extraer el exceso de agua de la ciudad y, al mismo tiempo, importarla desde fuentes más lejanas para garantizar su consumo, lo cual se realizó a partir de costos no sustentables para el desarrollo de la capital del país.

### **La metamorfosis de la ciudad: un gigante sin agua**

Después de más de tres siglos de lucha constante por dominar el entorno de la Cuenca de México, las devastadoras inundaciones que dejaban bajo el agua a la ciudad por largos periodos de tiempo se redujeron en intensidad y frecuencia a partir del siglo XX. Como resultado del acelerado crecimiento físico y poblacional de la ciudad, las obras construidas hasta el momento no fueron suficientes para satisfacer las demandas de los servicios de agua y drenaje de sus residentes. Por un lado, la pérdida de pendiente del Gran Canal por el hundimiento del suelo (debido a la explotación intensiva de las aguas subterráneas y a la desecación de los lagos y ríos), aunado al incremento en la generación de aguas residuales por el aumento de la población, expuso a la ciudad a ser inundada de nuevo, pero ahora con aguas negras ante alguna falla en el sistema de desagüe.

Para evitar un desastre de esta magnitud, en 1937 se construyó el segundo túnel de Tequixquiac –un túnel paralelo al Gran Canal–. Sin embargo, en 1951, la ciudad se inundó otra vez, y permaneció bajo el agua casi por tres meses. Esto presionó a las autoridades para encontrar una solución definitiva: la construcción del Drenaje Profundo. Esta obra fue una de las más importantes del siglo XX, además de que es la cuarta salida artificial de la Cuenca de México. La misma consistió en la construcción de un túnel localizado a más de 200 metros de profundidad para extraer las aguas pluviales fuera de la cuenca, por gravedad, hasta el río del Salto en el Estado de Hidalgo. Su edificación se inició en 1967, y el Emisor Central se concluyó en 1975 (Perló 1999). En la actualidad, el Drenaje Profundo tiene una capacidad de extracción de 220 m<sup>3</sup>/seg; recibe las descargas de los ríos de La Piedad, Consulado, Remedios, Tlanepantla, San Javier y Cuauhtepic, así como del Canal de la Draga y del Drenaje de Cartagena. En su origen funcionaba por gravedad, pero por el hundimiento diferencial del suelo de la ciudad, que finalmente sí le afectó, fue necesario edificar once estaciones de bombeo. A partir de 1995,

mediante este sistema de drenaje no sólo se desalojan las aguas pluviales de la ciudad, también las aguas residuales, situación que ha incrementado los costos de disposición y tratamiento, y limitado el reúso de las aguas pluviales.

Gran parte del agua residual generada en la ciudad es desalojada sin un tratamiento previo, por lo que contamina los caudales por los que se traslada hasta el mar. Esta práctica de gestión ha incrementado los riesgos a la salud por el reúso de las aguas residuales en el riego de vegetales y cereales (por ejemplo, alfalfa, avena, frijol y maíz, entre otros) en los valles de Tula y el Mezquital (Conagua y Semarnat 2003). Desde que estos cultivos se riegan con aguas residuales, el rendimiento por hectárea se ha incrementado casi cuatro veces, al igual que el volumen producido. Por este motivo, los agricultores se niegan a dejar de utilizar las aguas crudas, cuyos elevados contenidos en materia fecal se han convertido en un fertilizante muy eficiente. Sin embargo, las aguas residuales reusadas en el riego superan los límites permisibles de contaminantes definidos en la NOM-001-ECOL-1996. Por ejemplo, de acuerdo con esta norma, la DBO5 debe ser menor a 150 mg/l; sin embargo, en los resultados del análisis de calidad de las muestras del Emisor Central, la DBO5 ascendió a 427 mg/l (Sosa-Rodríguez 2010b). Esta situación incrementa la exposición de los agricultores y consumidores de productos agrícolas regados con aguas residuales a contraer enfermedades parasitarias hidrotansmisibles.

De la misma forma, las obras del Porfiriato para abastecer con agua a la ciudad dejaron de ser suficientes para atender la demanda de agua de los capitalinos a principios de la década de 1930. Por ello, en 1940, se inició una explotación intensiva del acuífero Valle de México con la perforación de 75 pozos profundos; práctica que aceleró el hundimiento diferencial de la ciudad. La mayor velocidad de hundimiento del suelo se registró entre 1950 y 1951, fluctuando entre 35 y 46 cm/año (Academia de la Investigación Científica 1995). El hundimiento diferencial del

suelo forzó a las autoridades a decretar en 1954 la suspensión de la explotación de las aguas subterráneas (veda de pozos) y a buscar nuevas fuentes de abastecimiento en los pozos del Plan de Acción Inmediata (PAI) localizados en el Estado de México, en los manantiales de la Cuenca del Lerma y en las aguas superficiales de la Cuenca del Cutzamala.

Aunque estas fuentes fueron consideradas las mejores alternativas con respecto a otras (la Cuenca del Papaloapan, los manantiales de Tepalcatepec, y los ríos del Mezquital, Oriental-Libres, Alto Amacuzac, Tecolutla y Alto Balsas), ya que sus requerimientos de inversión eran menores y su cercanía a la ciudad era mayor; en el caso del Sistema Cutzamala el agua tiene que ser transportada 126 km y bombeada más de 1 200 m (Conagua y Semarnat 2005). Así, transportar los volúmenes de agua que requiere la Ciudad de México hace necesaria una gran cantidad de energía, además de tener otros impactos sociales, políticos y ambientales que hacen que esta práctica no sea sustentable.

Por otro lado, con el decreto de veda se ha logrado desacelerar la velocidad del hundiendo de la ciudad, pasando de 9.2 cm/año entre 1986 y 1991, a cerca de 6 cm/año en la década de 1990. A pesar de ello, se ha permitido la excavación de pozos en la delegación Xochimilco y en varios municipios del Estado de México, incluyendo Chalco, Zumpango, Ecatepec y Cuautitlán, entre otros (Academia de la Investigación Científica 1995).

Como se ha evidenciado en esta sección, el hundimiento diferencial del suelo es un fenómeno que ha afectado a la ciudad desde mediados del siglo XIX; pero con la excavación de pozos profundos se incrementó su explotación intensiva, lo que generó nuevos riesgos como el asentamiento y agrietamiento de los edificios, la ruptura de las redes de distribución de agua y drenaje, la inundación del centro de la ciudad con aguas residuales ante alguna falla en el sistema de bombeo para desalojarlas, así como la contaminación de las aguas subterráneas por la infiltración de las aguas residuales y por los posibles agrietamientos de las arci-

llas del subsuelo (Mazari 1996). Los impactos de la extracción del agua subterránea en una tasa superior a su capacidad de recarga se constatan en el hundimiento de la catedral metropolitana desde su construcción en el siglo XVI hasta fines del siglo XX en 12.5 m (Academia de la Investigación Científica 1995).

A pesar de ser conocidas las consecuencias de la excesiva extracción de las aguas subterráneas, esta práctica de gestión continua, siendo el acuífero Valle de México la principal fuente de abastecimiento para la Ciudad de México. Las autoridades enfrentan una elevada complejidad para definir la política del agua en el futuro. Parecería que las opciones son limitadas: ya sea continuar extrayendo agua del acuífero para abastecer a los capitalinos o identificar nuevas fuentes de agua cada vez lejanas ¿Qué papel podría jugar la adaptación y su incorporación en las estrategias de gestión del agua para la Ciudad de México para enfrentar esta problemática?

### **La gestión de las aguas subterráneas en la Ciudad de México en la actualidad: ¿sustentable?**

En la actualidad, la Ciudad de México recibe 35.1 m<sup>3</sup>/s, 47.3% proviene de aguas subterráneas, 13.3 m<sup>3</sup>/s son extraídos de pozos localizados en su territorio, mientras que los 3.3 m<sup>3</sup>/seg restantes son transferidos de 52 pozos ubicados en el Estado de México. Además, la capital del país recibe 5 m<sup>3</sup>/s del Sistema del Lerma y 10 m<sup>3</sup>/s del Sistema Cutzamala, siendo este último la segunda fuente de suministro de agua más importante para esta entidad con una dotación de 28.5% del caudal total recibido (Conagua 2017). Se espera que la dependencia de la ciudad a fuentes lejanas aumente cada vez más por el abatimiento de las aguas subterráneas. A pesar de ello, incrementar la importación de agua del Sistema Lerma es una opción poco viable por el deterioro que experimenta esta cuenca a causa de la sobreexplotación de sus acuíferos; mientras que la construcción de la cuarta etapa del Sistema Cutzamala se encuentra detenida por el rechazo de las

comunidades a negociar la cesión de sus derechos de aprovechamiento del agua a favor de capital del país.

Ante esta situación, las autoridades están analizando diversos proyectos alternativos para complementar los requerimientos de agua de los capitalinos, como importar este recurso desde los estados de México, Hidalgo, Puebla o Veracruz. Cualquiera de estas propuestas necesitará de una intensa negociación por la oposición de las comunidades para transferir agua desde sus fuentes. Por otro lado, el volumen extraído del acuífero Valle de México ( $507.36 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) es casi el doble de su recarga ( $279.1 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), por lo que se encuentra en una situación de sobreexplotación (Conagua 2017). Aunado a la extracción intensiva, las zonas de recarga del acuífero Valle de México –en la Sierra del Chichinautzin, la Sierra de las Cruces, las barrancas y la Sierra Santa Catarina–, enfrentan elevados niveles de presión para ser urbanizados; incluso, importantes extensiones de estas áreas ya se encuentran urbanizadas de manera ilegal, lo que reduce aún más la recarga natural del acuífero.

La extracción intensiva de las aguas subterráneas ha deteriorado su calidad e incrementado la exposición de la población a riesgos a la salud por la movilización de las aguas fósiles concentradas al fondo del acuífero, las cuales presentan importantes densidades de metales pesados. Además, ha acelerado el hundimiento diferencial del suelo de la ciudad, modificando el flujo natural del sistema de drenaje e incrementado la frecuencia de las inundaciones. También ha provocado la ruptura de una gran cantidad de tuberías de la red de drenaje, que al verter las aguas residuales en el subsuelo pueden contaminar las aguas subterráneas por su infiltración (Semarnat 2006), y ha amplificado las ondas sísmicas por la pérdida de humedad del subsuelo (Mazari y Alberro 1990, Simon 1997), además de incrementar la aparición de grietas en las capas arcillosas del subsuelo asociadas a la pérdida de humedad del suelo, que exponen al acuífero a ser contaminado por la infiltración directa de las aguas residuales (Mazari y

Alberro 1990). Esta situación pone en evidencia que la gestión del agua en la ciudad continúa siendo no sustentable, y se requiere no sólo modificar las prácticas actuales de gestión, sino también la percepción ciudadana sobre lo costoso que es abastecer a la población con agua y lo relativamente escaso que es este recurso.

Los escenarios esperados para la Cuenca de México, con base en los resultados de ocho modelos climáticos regionales que consideran dos trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) representativas de 4.5 y 8.5 para tres horizontes de tiempo (2015-2039, 2045-2069 y 2075-2099), ponen en evidencia el alto nivel de vulnerabilidad de la región. Se espera que en el corto plazo (2015-2039), la temperatura media anual en la Cuenca de México se incremente en hasta 2.4 °C y la precipitación se reduzca en 16.4%. Para el mediano plazo (2045-2069), se proyecta que la temperatura media anual podría aumentar en hasta 4.4 °C y la precipitación reducirse en hasta 21.1%. Por último, en el largo plazo (2075-2099), la temperatura media anual podría incrementarse en hasta 6.6 °C y la precipitación disminuir en hasta 25.7%. Estas variaciones tendrán serias repercusiones en la disponibilidad del agua en la Cuenca de México, ya que afectarán seriamente el ciclo del agua en la región y la disponibilidad del agua en hasta 42% con respecto al volumen disponible entre 1979-2005 (Sosa-Rodríguez 2019). Lo anterior, pone en evidencia la urgente necesidad de reflexionar sobre nuevos criterios de asignación que eviten potenciales conflictos y reduzcan los impactos negativos de una menor disponibilidad del agua, y potencialmente, de una menor calidad. Por desgracia, la disminución esperada en la disponibilidad del agua en la cuenca será atendida con una mayor extracción de las aguas subterráneas y la importación de este recurso desde fuentes cada vez más distantes, prácticas que no son sustentables ante los impactos esperados del cambio climático.

Lamentablemente, la protección de las aguas subterráneas en la Ciudad de México continúa siendo promovida por la necesidad de resolver problemas específicos y de corto plazo. Prueba

de ello es que la mayoría de los objetivos de gestión se centran en la protección de los usos humanos, sin tomar en cuenta sus impactos en el ciclo hidrológico o en la preservación de las funciones ambientales de esta fuente. Uno de los desafíos más grandes es lograr que las acciones implementadas en materia de gestión se lleven a cabo bajo un enfoque preventivo y no reactivo, dado que el sistema de aguas subterráneas del acuífero Valle de México en la actualidad experimenta un deterioro significativo. Las estrategias implementadas para este fin pueden estar limitadas por la falta de reconocimiento sobre los problemas que afectan esta fuente, la ausencia de voluntad para resolver las problemáticas presentes, la falta de apoyo de los tomadores de decisiones y de los grupos de interés clave, así como la inexistencia de consensos entre estos actores.

En la Ciudad de México, la fragmentación de la autoridad y la responsabilidad de la gestión de las aguas subterráneas es una barrera para la protección efectiva de esta fuente: existen un mosaico de políticas y programas que influyen en las condiciones en que se encuentra esta fuente, los cuales son implementados por organizaciones de diferentes niveles de gobierno que no colaboran entre ellas. Estas políticas y programas a menudo no comparten el mismo enfoque ni los mismos objetivos o prioridades, motivo por el cual es necesario que la gestión de las aguas subterráneas trascienda los límites de las jurisdicciones locales y se base en los límites naturales del sistema. Con base en dichos límites y en la interacción entre los diferentes componentes humanos (por ejemplo, urbanización, actividades productivas, patrones de consumo) y ambientales (como precipitación, temperatura, recarga), se deben definir las responsabilidades, acciones y estrategias. De esta forma, las competencias de los diferentes niveles de gestión de las aguas subterráneas reflejarán las características del sistema hidrogeológico.

## **Conclusiones**

La Ciudad de México cada día transfiere con mayor intensidad algunos de los riesgos relacionados con el agua que enfrentan sus habitantes hacia otras entidades localizadas más allá de sus límites político-administrativos. Esto como resultado de importar elevados volúmenes de agua de sus fuentes hídricas y disponer sus aguas residuales en sus caudales para trasladarlas hasta el mar sin un tratamiento previo. Por consiguiente, la gestión del agua en esta entidad requiere la implementación de un enfoque adaptativo que permita flexibilizar sus prácticas de gestión identificando formas alternativas para abastecer con agua a los capitalinos y disponer de manera adecuada sus aguas residuales, teniendo en cuenta los impactos del cambio climático.

En vez de recuperar el volumen perdido por fugas, el cual es superior a la dotación de agua proveniente de cualquiera de las fuentes de abastecimiento, las autoridades prefieren buscar nuevas fuentes para complementar el suministro de la ciudad. Esta medida no sólo incrementa los riesgos asociados a una mayor dependencia a fuentes externas, sino que también los que devienen de la generación e intensificación de los conflictos por el agua ante la oposición de las comunidades para ceder sus derechos de aprovechamiento.

Además, el acuífero Valle de México sigue siendo sobreexplotado y constituye la principal fuente de abastecimiento de la capital del país, lo que retroalimenta de manera positiva el hundimiento diferencial de suelo y sus consecuencias negativas entre las que destacan: la posibilidad de que esta entidad enfrente una gran inundación con aguas residuales ante alguna falla en el sistema drenaje; el riesgo de que el acuífero sea contaminado directamente por la infiltración de aguas residuales y lixiviados a causa de la aparición de grietas en las arcillas, y que se amplifiquen las ondas sísmicas y se hagan más destructivos los fenómenos geológicos por la pérdida de humedad en el subsuelo (Sosa-Rodríguez 2010b).

Un requisito previo para la protección de las aguas subterráneas es la caracterización adecuada del funcionamiento del sistema, y la recopilación, análisis y mapeo de la información relacionada con esta fuente de agua, lo que incluye la extensión de este sistema, sus propiedades hidráulicas, las corrientes presentes, las áreas de recarga y descarga, las características de almacenamiento, su calidad y funciones ambientales, así como sus vínculos con las aguas superficiales. Para ello, es necesario desarrollar bases de datos con esta información que permitan conocer y evaluar los problemas que enfrentan las aguas subterráneas, así como las medidas requeridas para resolverlos (sobre todo en materia de calidad). El control de los usos de suelo no es la única herramienta para la protección de las aguas subterráneas. Algunas medidas legales que pueden implementarse son: 1) una definición clara sobre los roles y funciones de cada nivel de gobierno y dependencia; 2) la revisión y actualización de los mapas de las aguas subterráneas utilizados para su planeación; 3) el establecimiento de normas de operación para las aguas subterráneas y programas de protección a pie de pozo; 4) la implementación de permisos de descarga, y 5) la realización de inspecciones y sanciones al incumplimiento de las normas.

Además de las estrategias legales, otras medidas de índole no legal que podrían favorecer la protección de este recurso son: 1) la educación y difusión sobre las problemáticas que enfrenta esta fuente para concientizar a la población; 2) la convergencia y coordinación entre las políticas de aguas subterráneas, las políticas de desarrollo y el ordenamiento territorial; 3) la mejora del servicio de suministro de agua (por ejemplo, reúso, tratamiento, disposición, reparación de fugas); 4) la evaluación de recursos e identificación de amenazas mediante la vigilancia e inspección sistemática, y 5) el desarrollo de capacidades de respuesta ante emergencias.

Es evidente que el acuífero de la Ciudad de México es vulnerable a la contaminación por sus características hidrogeológicas, y al

ser la principal fuente de abastecimiento de agua para los capitalinos requiere ser protegido. Las estrategias de gestión implementadas deberían fomentar que el Gobierno Federal proporcione a los gobiernos estatales y locales las herramientas financieras, técnicas y de gestión que requieren para desarrollar programas integrales de protección de las aguas subterráneas. Éstos deberían incluir los criterios para la protección ecológica, la evaluación del riesgo, la transferencia y transparencia en el acceso a la información, los valores económicos asociados tanto a la extracción de las aguas subterráneas como a su preservación, y la posible compensación económica en caso de importar agua de otras fuentes.

Aunque la acción legislativa se ha tomado como una respuesta para hacer frente a las preocupaciones específicas de las aguas subterráneas (y existen leyes que regulan los niveles de contaminantes permitidos en la disposición de las aguas residuales, las características de los productos químicos agrícolas, la ordenación del territorio y la gestión del uso del agua), estas medidas se encuentran limitadas por la falta de cumplimiento de las leyes, por lo que se requiere la combinación tanto de los elementos normativos como de los no normativos.

La gestión de las aguas subterráneas requiere fomentar el interés de la comunidad y su compromiso para asumir la responsabilidad de protegerlas. El que la ciudadanía esté informada y apoye las medidas de protección es un factor fundamental para el éxito de la protección de esta fuente, ya que el apoyo de la comunidad favorece la selección de herramientas específicas de gestión que mejor se adapten a las circunstancias locales, además de definir metas y objetivos locales que cuenten con elevado nivel de consenso.

La incorporación del concepto de *adaptación* a la gestión de esta fuente invita a seguir reflexionando sobre cuáles son los procesos que determinan el funcionamiento del sistema de aguas subterráneas y qué vínculos tiene con otros sistemas (locales y regionales); cuáles son las tensiones asociadas a los diversos usos del suelo; si los instrumentos de gestión (legales y no legales) son flexibles y

capaces de adaptarse a nueva información y condiciones del contexto, y cómo se puede fortalecer la capacidad institucional para mejorar la gestión de las aguas subterráneas. Asimismo, conservar las aguas subterráneas, revirtiendo sus niveles de sobreexplotación constituyen una estrategia eficaz para hacer frente al cambio climático, la cual promueve la identificación de alternativas sustentables de acceso como el reúso de las aguas pluviales y de las aguas residuales tratadas, además de promover un consumo más eficiente de este vital y escaso recurso.

### **Agradecimientos**

Esta investigación se realizó con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), proyecto 221460.

### **Referencias**

- ACADEMIA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. 1995. *El agua y la Ciudad de México*. Ciudad de México: Academia de la Investigación Científica.
- BARRIGA, M., J. J. Campos Arce, O. M. Corrales y C. Prins. 2007. *Gobernanza ambiental, adaptativa y colaborativa en bosques modelo, cuencas hidrográficas y corredores biológicos: diez experiencias en cinco países latinoamericanos*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- BÁNÁTHY, B. H. 1996. *Designing Social Systems in a Changing World (Contemporary Systems Thinking)*. Nueva York/Londres: Plenum Press.
- CHRISTENSEN, N. L., A. M. Bartuska, J. H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J. F. Franklin, J. A. MacMahon, R. F. Noss, D. J. Parsons, C. H. Peterson, M. G. Turner y R. G. Woodmansee. 1996. "The Report of the Ecological Society of America Committee on the Scientific Basis for Ecosystem Management". *Ecological Applications* 6, n.º 3: 665-691.

- CONAGUA. 2017. *Estadísticas del Agua*. Ciudad de México: Conagua.
- CONAGUA Y SEMARNAT. 2003. *Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región XIII, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*. Ciudad de México: Conagua/Semarnat.
- . 2005. *Sistema Cutzamala: Agua para millones de mexicanos*. Ciudad de México: Conagua.
- EZCURRA, E. 1990. *De las chinampas a la megalópolis: El medio ambiente en la Cuenca de México*. Ciudad de México: FCE.
- FREEZE, R. A. y J. A. Cherry. 1989. "What has gone wrong?". *Groundwater* 27, n.º 4: 458-464.
- FOLKE, C. 2006. "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses". *Global Environmental Change* 16: 253-267.
- FOSTER, S., R. Hirata, D. Gomes, M. D'Elia y M. Paris. 2002. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies*. Washington, DC.: World Bank.
- GERLACH, L. P. y D. N. Bengston. 1994. "If Ecosystem Management Is the Solution, What's the Problem?". *Journal of Forestry* 92: 18-21.
- GUTIÉRREZ DE MACGREGOR, M. T., J. González Sánchez y J. J. Zamorano Orozco. 2005. "La Cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales". *Temas Selectos de Geografía de México, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM* 50: 77-91.
- IPCC. 2018. *Summary for Policymakers. Global Warming of 1.5 °C*. Special Report. Suiza: IPCC.
- LOMBARDO DE RUIZ, S. 2000. "Institucionalización de la vida colonial, 1600-1750". En *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*, coordinado por G. Garza, 103-108. Ciudad de México: Colmex/GDF.
- MAZARI, M. 1996. *Agua vs población*. Ciudad de México: El Colegio Nacional.
- MAZARI M. y J. Alberro. 1990. "Hundimientos de la Ciudad de México". En *Problemas de la Cuenca de México*, coordinado por J. Kumate y M. Mazari, 83-114. Ciudad de México: El Colegio Nacional.

- MOENCH, M. y J. Burke. 1998. *Groundwater: the underlying resource. Themes in groundwater management for the 21st century*. Nueva York: United Nations Press.
- MUSSET, A. 1992. *El agua en el Valle de México, siglos XVI-XVIII*. Ciudad de México: CEMCA.
- PERLO COHEN, M. 1999. *El paradigma porfiriano: Historia del desagüe del Valle de México*. Ciudad de México: UNAM/Porrúa.
- ROMERO LANKAO, P. 1994. "Ciudad de México: Problemas socioambientales en la gestión del agua". En *Medio ambiente: Problemas y soluciones*, compilado por A. Yúnez-Naude, 235-270. Ciudad de México: El Colegio de México.
- SIMÓN, J. 1997. *México en Riesgo: Un medio ambiente al borde del abismo*. Ciudad de México: Diana.
- SEMARNAT. 2006. *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) 2006*. Ciudad de México: Semarnat.
- SOSA-RODRÍGUEZ, F. S. 2010a. "Impacts of Water Management Decisions on the Survival of a City: From Ancient to Modern Mexico Tenochtitlan City". *Journal of Water Resources Development* 27, n.º 4: 667-689.
- . 2010b. "Exploring the Risks of Ineffective water supply and sewage disposal: A case study of Mexico City". *Environmental Hazards* 9: 135-146.
- . 2019. "Capítulo 7. Los efectos del cambio climático en la disponibilidad del agua en la Cuenca del Valle de México". En *Debates sobre el cambio climático, y los retos de mitigación y adaptación para México*, coordinado por F. S. Sosa-Rodríguez y J. Vázquez-Arenas, 343-382. México: UAM.
- TORTOLERO, A. 2000. *El agua y su historia: México y sus desafíos hacia el siglo XXI*. México: Siglo XXI.



## 7. El impacto del cambio climático sobre la productividad del maíz de temporal

Sazcha Marcelo Olivera Villarroel

### Introducción

El calentamiento global incrementa la temperatura y la variabilidad de las lluvias; a su vez, esto representa un aumento en los fenómenos meteorológicos extremos. Según el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), las sequías se intensificarán durante este siglo en algunas zonas de Europa Central, América Central, México, el noreste de Brasil y el sur de África (IPCC 2012). Como respuesta, la investigación económica ha cuantificado los posibles impactos del cambio climático en la sociedad, y concentrado su discusión inicial en los impactos en la agricultura, altamente susceptible a las condiciones climáticas; ello sin desconocer los impactos que el cambio climático podría acarrear en otras actividades económicas.

Los países en desarrollo son particularmente vulnerables al cambio climático, ya que cuentan con grandes segmentos de la población que dependen de la agricultura y que carecen del apoyo financiero que ofrezca alternativas de adaptación al sector agrícola, por ejemplo: la adopción de tecnologías de riego y nuevas especies de semillas, entre otros. Un creciente número de estudios, a nivel nacional, ha demostrado cómo los cambios

en los patrones de precipitaciones y temperaturas en climas más cálidos y secos afectan de forma negativa la agricultura, así que se pueden observar las pérdidas más intensas en África, América Latina y la India (Guiteras 2009).

La producción de maíz de temporal es una fuente vital de alimentos y una tradición milenaria en México. A pesar de que la participación de la agricultura en la economía se ha reducido en las últimas décadas, la producción de maíz de temporal es una estrategia crucial para el sustento de la población rural más pobre. Este grano es el alimento básico en la dieta de los mexicanos y cerca de 2.94 millones de pequeños agricultores lo cultivan, sobre todo para subsistencia. A pesar del pobre desempeño, su producción se ha mantenido estable durante los últimos diez años (18 millones de toneladas métricas). Sin duda, esto refleja la renuencia a abandonar una tradición muy arraigada en el país, dado que ésta es la región de origen y de distribución de este producto. Por lo tanto, es necesario establecer los efectos del cambio climático sobre la productividad del maíz de temporal y su posible asociación con la seguridad alimentaria en las áreas rurales.

Varios métodos han sido propuestos para medir la relación entre los rendimientos agrícolas y las variables climáticas. Como se explica a continuación, se propone una metodología de estimación basada en modelos que usan datos de panel mediante una ecuación de estimación generalizada (GEE), enfoque que, a diferencia de otras opciones, incluye tanto la existencia de correlaciones espaciales y temporales entre las variables climáticas y agrícolas, así como sus cambios a través del tiempo.

Las funciones de producción instrumentalizadas por métodos de datos de panel (efectos fijos o aleatorios) son una estrategia alternativa a los enfoques ricardiano o semi-ricardiano, ya que la primeras estiman el impacto del cambio climático y controlan las determinantes no observadas de la productividad agrícola (calidad del suelo, capacidad tecnológica de los agricultores) (Deschenes y Greenstone 2006). Estos métodos sugieren la explotación de

la varianza de los datos climáticos y la productividad agrícola, la cual se presume cambia año con año, es decir, analiza el efecto de la variación en temperatura y precipitación para evaluar si la producción agrícola media es superior o inferior en climas más calientes o húmedos, contabilizando, de manera adicional, las prácticas de adaptación interanuales de los agricultores (por ejemplo, cambios en los insumos o técnicas de cultivo particulares). Al mismo tiempo, al usar información de panel se pueden utilizar métodos de efectos fijos que corregirían la omisión de variables, siendo éstos un problema intrínseco a los métodos ricardianos.

Sin embargo, los métodos de estimación que usan funciones de producción utilizando datos de panel, que suponen la existencia de efectos fijos y aleatorios, asumen que las observaciones de las variables climáticas, así como la producción agrícola, son independientes e idénticamente distribuidas, aunque en realidad tal vez están correlacionadas con el tiempo y el espacio, y violan así las hipótesis de independencia realizadas para estos procedimientos. Por ello, se propone una metodología de estimación basada en modelos de medias de población mediante una GEE. Lo anterior, debido a que este enfoque asume la existencia de correlaciones espaciales y temporales de las variables utilizadas en las estimaciones de panel, siendo éste un método muy útil para evaluar la relación entre la producción agrícola y las variables climáticas.

Nuestro estudio usa técnicas de regresión de panel para 2 196 municipios, de un total de 2 454, entre 2003 y 2007, así como la influencia de la temperatura y las precipitaciones, entre otros controles medidos a nivel municipal, para la estimación de los impactos del cambio climático en los rendimientos agrícolas. El impacto del cambio climático sobre la producción de maíz se estima, entonces, a partir de los parámetros meteorológicos estimados en el modelo de panel y los cambios previstos en el clima mediante la generación de escenarios globales entre 2030 y 2039. Como era de esperarse, el clima afecta la producción de maíz en forma no-lineal, es decir, la existencia de aumentos en la

precipitación y la temperatura tiene efectos positivos hasta cierto nivel y, posteriormente, se ven caídas en la producción agrícola; es decir, se observan los efectos de fenómenos extremos como inundaciones o sequías.<sup>1</sup>

Los aumentos de temperatura de 1 grado Celsius (°C) en torno a la media reducen los rendimientos en torno a 2.7% para la estación agrícola primavera-verano y de 1.99% para el otoño-invierno. Estas estimaciones asumen que los agricultores no toman ninguna medida de adaptación y, por lo tanto, representan un límite superior en las caídas de los rendimientos agrícolas. Nuestro análisis también muestra gran heterogeneidad en los rendimientos agrícolas a nivel municipal al usar escenarios de cambio climático para 2030-2039. Éstos van de una disminución de 15.2%, en algunos municipios, a un aumento de 48.8% en otros para la temporada agrícola primavera-verano.

Dada la alta dependencia al consumo de maíz de temporal por parte de los hogares pobres, se observa que las caídas/ganancias en la productividad del maíz pueden estar asociadas con aumentos/disminuciones de la seguridad alimentaria de las regiones. Por ello, se procede a cuantificar las caídas de los actuales niveles de producción agrícolas de maíz en las áreas rurales utilizando las proyecciones de temperatura y precipitación para 2030-2039 para construir proyecciones en la productividad del maíz inducidas por el cambio climático.

## Objetivos

El presente estudio tiene como objetivo principal estimar las repercusiones del cambio climático en la productividad del maíz de temporal a nivel municipal en México. Este objetivo se llevará a cabo mediante i) generación de escenarios de los efectos en los rendimientos agrícolas del maíz de temporal por el cambio en los patrones de lluvia y temperatura, entre 2030-2039, usando

1 La participación del sector agrícola dentro del PIB se ha reducido de 25% en 1970 a 7% en 1980, y a un actual 3.6% para 2030 (Inegi 2010).

como patrón de comportamiento las campañas agrícolas de los años 2003-2007 a nivel municipal en México, y ii) aplicación de técnicas de datos de panel mediante una ecuación de estimación generalizada, para probar su aplicación ante la existencia de procesos de correlación temporal y espacial.

### **Marco teórico**

La mayoría de las investigaciones citadas en la literatura sobre los efectos económicos del cambio climático en la agricultura examina el vínculo entre las funciones de producción agrícola y los factores climáticos (Seo, Dinar y Kurukulasuriya 2008; Gay *et al.* 2006). Una de las formas de instrumentalizar esta visión es el método ricardiano, desarrollado por Mendelsohn, Nordhaus y Shaw (1994); éste es un enfoque de corte transversal que estudia la producción agrícola y su relación con los factores climáticos, y parte del hecho de que el valor de la tierra refleja su productividad neta a largo plazo. Si bien el enfoque ricardiano ha sido comprobado en economías como la europea, es difícil llevarlo a cabo en los países en desarrollo puesto que no existe un buen funcionamiento de los mercados de tierras y los datos sobre precios de la tierra son inexistentes; México no es la excepción.

Otros analistas han sugerido utilizar un enfoque semi-ricardiano, donde los ingresos netos de tierras agrícolas reflejan la productividad neta del suelo (Kurukulasuriya *et al.* 2006). La idea central del argumento teórico indica que los precios de la tierra reflejan, a futuro, el valor actual descontado de las utilidades de la producción agrícola asociada al suelo agrícola analizado (Guiteras 2009). Modelos ricardianos o semi-ricardianos de Ricardo en los Estados Unidos, Brasil y la India, indican que el ingreso neto agrícola, o el valor del suelo, depende del clima, el suelo y las condiciones económicas (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw 1994; Mendelsohn y Nordhaus 1996; Mendelsohn, Dinar y Sanghi 2001; Sanghi, Mendelsohn y Dinar 1998; Guiteras 2009).

El estudio explora los efectos de la temperatura y las precipitaciones en las funciones de la producción agrícola, así como también su posible asociación con la seguridad alimentaria en áreas rurales. En esta sección se analiza la relación esperada entre las fluctuaciones del clima y los rendimientos de maíz de temporal.

Se considera una función de producción para un agricultor medio (vivienda rural) de la siguiente manera: rendimiento agrícola =  $f(T_{mt}, P_{mt}, G, L, K)$ , donde  $T$  y  $P$  representan la temperatura y la precipitación;  $G$  representa los insumos agrícolas, así como características geográficas y tipo de suelo;  $L$  representa la mano de obra que puede variar en el corto plazo;  $K$  representa el capital, que sólo puede variar en el largo plazo, y  $m$ , que representa nuestra unidad central de análisis, o sea, los municipios. Se considera que el agricultor es un tomador de precios, es decir, su producción no influye en los precios internacionales ni locales; la lluvia y la temperatura se consideran variables dadas sobre las que no se tiene influencia; por lo tanto, el problema se resuelve de la siguiente manera:

$$\max \text{rendimiento maíz} = f(T_{mt}, P_{mt}, K, L, G,) \text{ sujeto a } c(m_1, \dots, m_n) \quad (1)$$
$$m_x \in R$$

Los costos totales,  $C$ , son una función del maíz producido y la tecnología utilizada, que a su vez depende del clima dado por la precipitación y la temperatura que afectan directamente el rendimiento agrícola (Deschenes y Greenstone 2006, Guiteiras 2009). La solución de este problema de optimización nos permite observar hacia un determinado nivel de temperatura y precipitación, características del suelo, la combinación de mano de obra e insumos agrícolas seleccionados por el agricultor, los cuales maximizan el rendimiento del maíz. Se considera que los cambios en la productividad agrícola afectan los ingresos de los hogares rurales, así como también la cantidad de alimen-

tos producidos y disponibles en los hogares y, como consecuencia, la seguridad alimentaria de las regiones.

La relación entre la producción de alimentos (ingresos) y la estacionalidad agrícola se ha estudiado en diferentes contextos. La conclusión principal es la existencia de una fuerte relación entre factores temporales agrícolas y climáticos, así como también la disponibilidad previa de capital productivo (Chambers 1982). Es decir, las transformaciones en las precipitaciones y la temperatura a través de los cambios en la producción agrícola repercuten en el suministro de alimentos, especialmente en el caso de los granos básicos. Asimismo, la provisión de granos básicos aumenta los precios relativos de estos a nivel local. Este fenómeno se asocia con cambios en los niveles de seguridad alimentaria.

Los hogares rurales cuya principal actividad es la agricultura de secano no pueden generar suficientes ingresos para mantenerse al margen de las caídas en la producción agrícola, pero puede mitigar las consecuencias del cambio climático a través de la adaptación en al menos dos dimensiones: i) que se mueve fuera de la agricultura hacia los sectores más rentables o a nuevas ocupaciones, o ii) migrar a regiones más productivas (Assunção y Chein 2009).

### **Datos y estadísticas**

El estudio se llevó a cabo en 2 196 municipios de México. Algunos estados y municipios están excluidos del estudio porque para la producción de maíz se usan tecnologías de riego, es decir, no se produce maíz de temporal, o también porque las condiciones climáticas no permiten la producción de maíz. El análisis utiliza cuatro tipos de información: i) la producción agrícola, ii) los datos socioeconómicos, iii) los datos meteorológicos y iv) los escenarios climáticos.

Los datos agrícolas y socioeconómicos provienen del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (Sagarpa). La precipitación diaria y

la temperatura tienen como fuente de información las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), mientras que los escenarios de temperatura y precipitación usan un ensamble de 22 modelos climáticos a nivel global que utilizan como referencia las recomendaciones del IPCC (las cuales son generadas por el portal de cambio climático de Banco Mundial).<sup>2</sup> Todos los datos están disponibles a nivel municipal (ver Anexo 1 para las estadísticas de resumen).

#### ◇ **Datos agrícolas**

El maíz es el principal cultivo básico en México.<sup>3</sup> En 2007, la producción de maíz cubría 6.82 millones de hectáreas, una cuarta parte de las tierras de cultivo en el país, 27.3 millones de hectáreas (Faostat 2010, Semarnat 2010). De éstas, 5.5 millones de hectáreas son de maíz blanco para consumo humano, objeto central de nuestro estudio. En términos de producción, 19.49 millones de toneladas de maíz blanco se produjeron en 2007 en México (92% de la producción total de maíz). Nuestra muestra cubre poco más de 95% de la producción nacional de maíz blanco.

El maíz es cultivado por alrededor de 3.2 millones de agricultores en el país (de un total de 4 millones), en especial por pequeños agricultores de subsistencia. La mayoría de los productores (92%) tiene entre 0 y 5 hectáreas con muy bajos niveles de productividad y con rendimientos agrícolas limitados. Por lo tanto, la producción de maíz se utiliza sobre todo para autoconsumo, mientras que productores medianos y las grandes empresas agrícolas (alrededor de 8% de los productores) representan casi 44% de los productores con mayores rendimientos promedio que van desde 1.8 hasta 3.2 toneladas por ha.

Los datos agrícolas se obtuvieron en forma agregada para las dos temporadas de cultivo otoño-invierno y primavera-verano a

2 Ver <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm>.

3 En México, alrededor de 90% de la producción de maíz está compuesto por variedades de maíces dulces denominadas como maíz blanco, destinadas al consumo humano.

través del SIAP y de la Sagarpa; la información incluye la superficie de maíz sembrado y cosechado de 2 196 municipios del periodo que va de 2003 a 2007. Estos datos sólo consideran una tecnología de riego (secano) y está disponible en dos temporadas de 2003-2007, resultando en 9 492 puntos de datos. Los costos de producción fueron bianuales y se usó la base de la tecnología aplicada en promedio por cada municipio analizado. Los costos de la tecnología de inversión varían según el municipio en función del tipo de fertilizantes y pesticidas empleados, y la maquinaria o tecnología usada, entre otros.

Tanto la calidad del suelo como los datos geográficos se extrajeron del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). La calidad del suelo en cada municipio se calcula a través de las diferentes características de éste: la materia orgánica en el suelo (expresada en porcentaje); la proporción de absorción de sodio; la capacidad de intercambio catiónico; el porcentaje de saturación de base del suelo; el porcentaje de arena, limo y arcilla, y la ubicación geográfica del municipio. Esta última influye en la productividad y en la posible asociación con la desnutrición infantil, por lo tanto, se cuenta con la latitud de cada municipio, longitud y altura sobre el nivel del mar. Además, el modelo de productividad emplea variables que describen la distancia desde el municipio a la carretera más cercana.

#### ◇ *Datos climáticos*

Los datos históricos del clima fueron imputados a los municipios mediante un modelo de infiltración de capacidad variable (VIC)<sup>4</sup> para México desarrollado por Liang *et al.* (1994). El modelo VIC interpola los datos utilizando una rejilla a través de: i) la creación de matrices de correlación entre estaciones pluviométricas existentes y estaciones de radar que indican la presencia de lluvia, pero que no pueden captar la cantidad, ii) el cálculo de los correspondientes medios para ambos tipos de estaciones de las rejillas

4 Ver <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

dentro de la municipalidad, y iii) utiliza dichos valores y sus relaciones medias para llevar las proyecciones a escala a través de la reconstrucción de un modelo climático. Las variables climáticas empleadas para el estudio son la precipitación diaria (en milímetros) y la temperatura media, considerada desde 1996 hasta 2008. Los datos diarios del clima han sido añadidos por temporada agrícola para los dos ciclos agrícolas comunes en México (otoño-invierno y primavera-verano).

#### ◇ **Escenarios de cambio climático**

Se desarrolla un escenario particular de precipitación y temperatura para México obtenido a través del ensamble de 22 modelos climáticos de circulación general. Dicho ensamble fue desarrollado por el portal de cambio climático de Banco Mundial (2011), éste usa como referencia las recomendaciones del IPCC.

El cambio climático modifica las precipitaciones locales y los promedios de temperatura, por lo tanto, las proyecciones resultantes de modelos climáticos globales se adaptan a diferentes regiones de México a una resolución aproximada de 50 km x 50 km. Los datos de referencia sobre la temperatura y la precipitación diaria son de 2001 a 2007 y los escenarios de la temperatura media diaria y la precipitación son de 2030 a 2039.

Para determinar cómo las emisiones de gases de efecto invernadero afectan en los cambios en las precipitaciones y la temperatura, los modelos climáticos deben combinarse con los modelos que predicen la cantidad de emisiones artificiales de efecto invernadero. El Tercer Informe de Evaluación del IPCC admite varios modelos de emisiones de gases de efecto invernadero y de éstos se elige un modelo denominado A2, el cual asume un escenario *business as usual* (es decir, usa la tendencia en el crecimiento económico, el uso de combustibles fósiles y el crecimiento de la población) (Conde 2008).

Nuestro análisis muestra que la temperatura aumentará de 0.41 a 3.33 °C para el otoño-invierno y de 0.49 a 3.12 °C para la

temporada primavera-verano agrícola. Las precipitaciones anuales cambiarán de -25.88 a 64.46 mm para la temporada de otoño-invierno agrícola y de 1 525.63 a -1 147.89 mm para la temporada primavera-verano agrícola, dependiendo de la región. Las figuras 1 y 2 muestran los cambios en la temperatura y precipitación para el periodo mayo-agosto de 2030-2039 en comparación con el promedio histórico para el mismo periodo de 1950-2000. Los cambios más significativos en la temperatura se producen en las regiones costeras, donde los aumentos esperados se encuentran entre 3 y 1.4 °C, mientras que en las zonas centrales de Chihuahua, Nuevo León y San Luis Potosí se esperan incrementos más bajos.

Las proyecciones de precipitación (en mm) para los mismos meses de 2030-2039 revelan disminución en las precipitaciones en la mayoría de los Estados, especialmente en el sur del Golfo de México y en los estados de Chiapas y Guerrero. Algunas áreas en los estados de Jalisco, Chihuahua, Nuevo León, Guanajuato y Quintana Roo observan aumentos en las precipitaciones, sobre todo en la temporada agrícola primavera-verano.

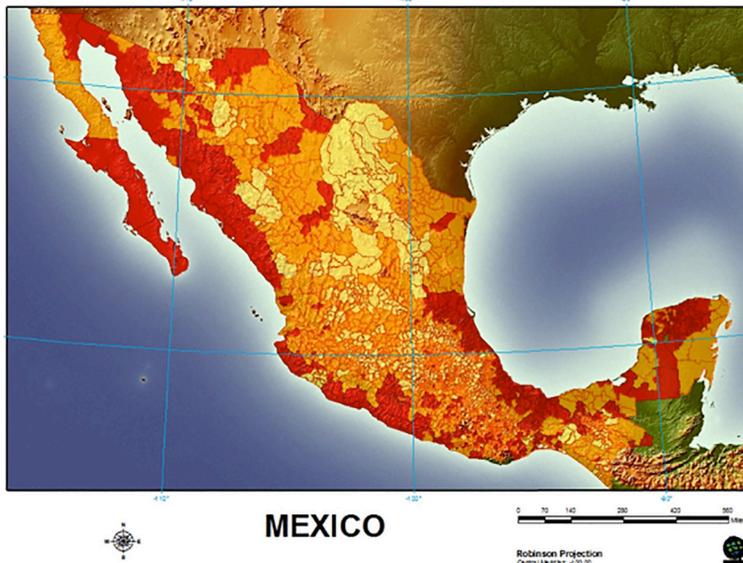




Figura 1. Los cambios de temperatura absolutas 2005-2030, primavera-verano, grados Celsius. Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Variación absoluta precipitación 2005-2030, primavera-verano. Fuente: elaboración propia.

## Estrategia de estimación

### ◇ *Efectos sobre la producción de maíz de temporal*

Nuestro marco teórico en la sección 2 (modelo ricardiano) supone que cada agricultor elige el tipo de cultivo e insumos para cada unidad de tierra, y éstos maximizan el rendimiento en función a las condiciones climáticas y físicas de cada unidad de tierra en particular. Por su pequeña o nula participación en los mercados se los considera como tomadores de precios de mercado. A pesar de que las perturbaciones meteorológicas son determinadas exógenamente, los agricultores pueden reducir los daños potenciales (cambio climático) a través de estrategias de adaptación eficaces, por ejemplo, a través de la elección de los cultivos y/o las varieda-

des de ganado, así como la infraestructura de riego, entre otras opciones (Mendelsohn y Dinar 2000). Si bien, en el corto plazo, los agricultores pueden modificar ciertas tecnologías de producción (semillas, fertilizantes, mano de obra), no pueden adaptar con facilidad sistemas de infraestructura de riego o de costos hundidos, como maquinaria agrícola. De manera similar, pensar en cambios para la producción de maíz por otros cultivos es poco probable dado que el cultivo de maíz es una tradición milenaria en México, por lo que cualquier canje significaría asumir inversiones y riesgos elevados para los agricultores, en lo particular.

Sin una adaptación plena en el corto plazo, el impacto de las perturbaciones meteorológicas en los rendimientos de maíz adopta una forma funcional cuadrática y, en términos generales, se observa un comportamiento no-lineal del sistema. Esto es en esencia lo que indican los modelos ricardianos realizados en Estados Unidos, Brasil y la India (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw 1994; Mendelsohn y Nordhaus 1996; Mendelsohn, Dinar y Sanghi 2001; Sanghi, Mendelsohn y Dinar 1998; Guiteras 2009). Otros factores determinantes plausibles de los rendimientos agrícolas, tales como la calidad del suelo y la ubicación municipal, deben ser incluidos para evitar omisión de variables dentro el modelo. De hecho, el éxito del enfoque de los modelos semi-ricardianos depende de ser capaz de dar cuenta de los factores relacionados con el clima y la influencia de estos en la productividad agrícola (Guiteras 2009).

En general, para evaluar los efectos históricos de temperatura y precipitación, y sus proyecciones debido al cambio climático, sobre los rendimientos de maíz de temporal, se propone el siguiente modelo econométrico para estimar las variaciones en el rendimiento para el municipio  $m$  en el año  $t$ :

$$\text{max rendimiento maíz} = f(T_{mt}, P_{mt}, K, L, G, \dots) \text{ sujeto a } c(m, 1, \dots, m, n) \quad (1)$$

$$m \in \mathbb{R}$$

$$\text{Rendimientos de maíz } (w, m, t) = \int hg(\phi wmt) \phi mt (h) dw + \delta zmt + cm + \epsilon m \quad (2)$$

En la ecuación (2)  $g(w)$  representa el crecimiento del maíz, que depende de las variables climáticas  $w$  (temperatura, precipitación) y  $\varphi_{mt}(w)$  es el promedio de precipitación para cada municipio  $m$  en el año  $t$ , y  $\delta$  muestra el comportamiento de los costos de producción en el municipio  $m$ . La matriz  $z_{mt}$  incluye la temperatura media y las tecnologías empleadas (tipo de semilla, trabajo manual o mecánico y fertilizantes y agroquímicos utilizados) en el municipio  $m$  y el año  $t$ . El término  $c$  representa las características municipales (por ejemplo, tipo de suelo, la latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar). En la ecuación (2) se muestran como variable dependiente a los rendimientos medios por hectárea de maíz de temporal. Las estimaciones de rendimiento se construyeron según la ecuación (3):

$$\text{Rendimientos de maíz } (w,m,t) = \pi_{xmt}/H_{xmt} \quad (3)$$

Donde  $\pi_{xmt}$  es la producción total (en toneladas) de maíz en el municipio  $m$  en el año  $t$  y  $H$  son las hectáreas de maíz de secano sembradas inicialmente al inicio de la temporada.

En general, la regresión incluye variables climáticas, geográficas y económicas que afectan la productividad del maíz (ver Anexo 1 para ver el resumen de estadísticas). Como parte de las variables geográficas, se incluyen las coordenadas de posición (latitud, longitud, altitud) y la calidad del suelo. Para las variables económicas que influyen en la productividad agrícola tenemos en cuenta los costos, y las variables climáticas comprenden términos lineales y cuadráticos para la precipitación estacional y la temperatura media.

## Resultados

### ◇ *Regresión de los rendimientos agrícolas*

Como se esperaba, incrementos en la lluvia y la temperatura aumentan la producción agrícola, pero a partir de un nivel estos in-

crementos disminuyen los rendimientos agrícolas (temperaturas y precipitaciones extremas) (Tabla 1). Esto confirma la existencia de una relación no lineal entre la temperatura/precipitación y los rendimientos de maíz: donde hay escasez de lluvia se reduce la productividad agrícola, al igual que en los lugares donde ocurren precipitaciones intensas que pueden dañar los cultivos. Este hallazgo es consistente con las especificaciones encontradas en la literatura. De acuerdo con la especificación general (columnas 3 y 4), se estima que un aumento de 1 mm de precipitación aumenta la productividad bruta por hectárea en promedio, y 1 °C de aumento maximiza la productividad por hectárea en 80 kilogramos, en promedio.

La relación entre los costos (que expresan la tecnología usada) y la producción de maíz muestran una forma de U invertida. Esto implica que los agricultores de bajos rendimientos incrementan el rendimiento de sus cultivos con niveles mínimos de inversión, pero por encima de ese nivel de inversión los agricultores pueden incurrir en pérdidas; debido a que el nivel de producción no cubre los costos de inversión (columnas 9 y 10). Sin embargo, la falta de grados de libertad impide la aplicación de efectos fijos individuales que permitan controlar posibles sesgos en la estimación por omisión de variables.

La estimación final emplea variables de control a nivel municipal que actúan como efectos fijos del modelo (columnas 1 y 2). Por ello usamos variables de control geográficas (características del suelo, la latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar) para cada municipio (esta estimación reduce la muestra a 790 municipios). Por ello, se prefiere usar las estimaciones realizadas en la columna 3 y 4, al cubrir una mayor cantidad de municipios en la muestra a pesar de tener una especificación general.

	(1)	(2)	(3)	(4)
VARIABLES	PCSE	GEE	PCSE	GEE
Precipitación	0.115*	0.115*	0.0840*	0.0840*
	(0.0153)	(0.0149)	(0.0623)	(0.0673)
Precipitación al cuadrado	-0.00568*	-0.00568*	-0.00360*	-0.00360*
	(0.00101)	(0.000940)	(0.000366)	(0.000397)
Temperatura	0.114*	0.114*	0.0825*	0.0825*
	(0.0235)	(0.0260)	(0.0127)	(0.0147)
Temperatura al cuadrado	-0.00277*	-0.00277*	-0.00193*	-0.00193*
	(0.000559)	(0.000615)	(0.000308)	(0.000354)
Costo (log)	-17.48*	-17.48*	-16.11*	-16.11*
	(1.896)	(1.237)	(1.069)	(0.689)
Costo al cuadrado (log)	1.167*	1.167*	1.074*	1.074*
	(0.113)	(0.0733)	(0.0638)	(0.0408)
Características del suelo	sí	sí		
Distancia a la carretera más cercana	sí	sí	sí	sí
Coordenadas geográficas	sí	sí	sí	sí
Estación agrícola, Estado y efecto tiempo	sí	sí	sí	sí
Costante	63.60*	63.60*	64.55*	64.55*
R-cuadrado	(10.70) 0.768	(8.428)	(6.302) 0.761	(4.875)
Número de observaciones	790	790	2,196	2,196

(Error estándar entre paréntesis)\*  $p < 0.01$ .

(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
PCSE	GEE	PCSE	GEE	PCSE
0.217*	0.217*	0.156*	0.156*	0.139*
(0.0163)	(0.0163)	(0.0132)	(0.0137)	(0.0126)
-0.0116*	-0.0116*	-0.00882*	-0.00882*	-0.00812*
(0.00104)	(0.00105)	(0.000917)	(0.000975)	(0.000871)
0.169*	0.169*	0.209*	0.209*	0.244*
(0.0275)	(0.0294)	(0.0286)	(0.0290)	(0.0309)
-0.00381*	-0.00381*	-0.00497*	-0.00497*	-0.00546*
(0.000655)	(0.000698)	(0.000670)	(0.000681)	(0.000714)
-28.07*	-28.07*	-28.08*	-28.08*	-28.27*
(2.049)	(1.382)	(2.054)	(1.391)	(2.095)
1.788*	1.788*	1.788*	1.788*	1.808*
(0.123)	(0.0820)	(0.123)	(0.0826)	(0.126)
sí	sí	sí	sí	sí
sí	sí	sí	sí	
sí	sí	sí	sí	
84.79*	84.79*	84.33*	84.33*	108.5*
(8.651)	(6.167)	(8.675)	(6.207)	(8.677)
0.674		0.670		0.655
790	790	790	790	790

(Error estándar entre paréntesis)\*  $p < 0.01$ .

(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
GEE	PCSE	GEE	PCSE pooled	GEE pooled
0.139*	0.0940*	0.0940*	0.166*	0.166*
(0.0133)	(0.00576)	(0.00669)	(0.00979)	(0.0108)
-0.00812*	-0.00513*	-0.00513*	-0.00944*	-0.00944*
(0.000975)	(0.000364)	(0.000438)	(0.000637)	(0.000708)
0.244*	0.146*	0.146*	0.119*	0.119*
(0.0291)	(0.0156)	(0.0163)	(0.0249)	(0.0265)
-0.00546*	-0.00344*	-0.00344*	-0.00302*	-0.00302*
(0.000670)	(0.000364)	(0.000382)	(0.000586)	(0.000619)
-28.27*	-28.89*	-28.89*		
(1.419)	(1.226)	(0.796)		
1.808*	1.837*	1.837*		
(0.0842)	(0.0737)	(0.0472)		
sí				
84.79*	84.79*	84.33*	0.140	0.140
(5,991)	(5.040) 0.629	(3.346)	(0.258) 0.026	(0.280)
790	2,197	2,197	2,197	2,197

Tabla 1. Impactos sobre los rendimientos medios de maíz por hectárea utilizando los métodos de Panel corregido errores estándar (PCSE) y Estimación de ecuaciones generalizadas (GEE). Fuente: elaboración propia.

◇ ***Predicción de impactos del cambio climático sobre los rendimientos de maíz de temporal***

Las estimaciones de los efectos del cambio climático sobre la producción de maíz de temporal a nivel municipal en México partieron por determinar los rendimientos esperados ante un escenario de temperatura y precipitación media tomado de la muestra histórica entre 2003 y 2007. Luego de lo cual se procedió a modificar el escenario climático de acuerdo con las estimaciones del Portal de Cambio Climático de Banco Mundial para los años 2030 a 2039, es decir, las predicciones de impactos del cambio climático son el resultado de la combinación de los coeficientes previstos en el modelo (2) con las proyecciones climáticas obtenidas de los modelos climáticos de circulación general.

Los escenarios desarrollados estiman que habrá incrementos de temperatura asociados a disminuciones en los promedios de la precipitación en general para todo México. Bajo tales escenarios, la temperatura se eleva 1.23 °C en promedio, y la precipitación disminuye 13.8% en promedio, dependiendo de la región del país. Ambos fenómenos se producen de forma simultánea. Un aumento moderado de la temperatura, manteniendo los actuales niveles de precipitaciones, mejoraría los rendimientos agrícolas en general; pero, en contraste, cualquier caída en la precipitación invariablemente reducirá los rendimientos esperados en la producción de maíz, a pesar de mantener la temperatura media actual. Para la temporada agrícola de primavera-verano, las estimaciones sugieren que el cambio climático reducirá los rendimientos de maíz de temporal entre -15.25 y 48.83% a nivel municipal; en promedio se esperan descensos de 3.14%.

La Figura 3 muestra el efecto del cambio climático en el rendimiento del maíz de temporal (como porcentaje de variación de los rendimientos medios por hectárea municipales). Municipios costeros (ubicados en los estados de Yucatán, Tamaulipas, Sonora, Veracruz y Oaxaca) es probable que sean los más afectados, mientras que, en el centro de México, donde

la productividad del maíz ha sido históricamente superior, se estima que las subidas en la temperatura y los cambios en las precipitaciones sean menos extremos.

En general, el rendimiento agrícola para maíz de temporal sufrirá cambios que varían entre -10.8 y 2.8% para la temporada agrícola otoño-invierno y de -15.2 y 48.8% para la campaña agrícola de primavera-verano. Esto representa de 23 585 a 420 281 toneladas de maíz, dependiendo de la temporada agrícola analizada. Esto sería un indicador bruto de que en los hogares se puede experimentar escasez de alimentos (suponiendo que todo el maíz consumido en dichos hogares proviene de la autoproducción) en las zonas rurales, donde el consumo de maíz por año es de aproximadamente una tonelada por hogar (Assunção y Chein 2009).

Estas estimaciones asumen que los hogares no toman ninguna medida de adaptación y, por lo tanto, representan un límite superior a las pérdidas del rendimiento agrícola. Cabe mencionar que los modelos sólo consideran caídas en las temperaturas y precipitaciones medias y no se toman en cuenta eventos extremos como huracanes, inundaciones, sequías y heladas, entre otros. Olivera-Villarroel, Raga y Orbe (2012) observan caídas de más de 80 mil toneladas de maíz por la ocurrencia de un fenómeno climático extremo como un huracán para la región del Pacífico Sur en los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca.

Los impactos del cambio climático en las zonas rurales por las pérdidas en la producción de maíz pueden ser muy heterogéneos, dado el papel dual de los hogares como consumidores y productores de alimentos, es decir, dependerá de si son consumidores o productores netos de maíz. Mientras que los productores netos (con excedentes de mercado) pueden beneficiarse de precios de maíz más altos, para los agricultores de subsistencia las pérdidas de las cosechas pueden aumentar las dificultades de suministro de alimentos, ya que a precios de mercado una tonelada de maíz puede valer entre 600 y 1 200 dólares la tonelada dependiendo de la región del país, y estos recursos para la

adquisición de maíz deben ser generados por los hogares para poder mantener sus niveles de alimentación.

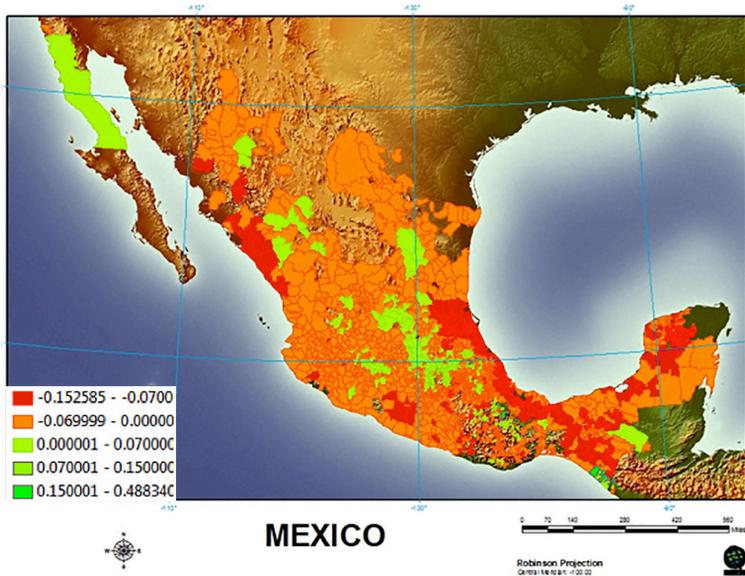


Figura 3. Cambio porcentual en los rendimientos de maíz (toneladas por hectárea), 2005-2030. Fuente: elaboración propia.<sup>5</sup>

La limitada capacidad del sector agrícola para generar excedentes económicos y su vulnerabilidad a eventos climáticos catastróficos podría forzar su capacidad de adaptación a nivel hogar. La adaptación puede acarrear, además de cambios tecnológicos o de material genético de sus cultivos, la migración o el cambio de ocupación a sectores económicos no agrícolas. Si bien los alimentos (en este caso granos básicos) podrían ser trasladados de otras regiones mediante transferencias públicas que paliarían los efectos negativos de una mala producción, en el largo plazo cam-

<sup>5</sup> En naranja se indica la disminución en la producción de maíz de hasta 5%, mientras que el rojo indica una disminución de entre 5-10%. Los verdes claros indican un aumento en la producción de hasta 5%, los verdes de 5 hasta 10% y los verdes oscuros de 10 hasta 15%, respectivamente.

bios en los patrones de producción y migración son esperados. Este tipo de efectos requiere que se hagan explícitas políticas de seguridad alimentaria dirigidas a los pequeños agricultores.

Las principales áreas afectadas por caídas en la precipitación y, por ende, en la producción de maíz de temporal son las regiones sur y oeste de México, que comprenden los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Jalisco y Colima. Los estados ubicados en la región central del país, así como los ubicados en el Golfo de México, Puebla, México, Morelos, Guanajuato, Querétaro, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, sufrirán una reducción en su productividad, pero en una escala menor a la de los estados del sur del país.

La productividad agrícola podría ser modificada como medida de adaptación a los efectos del cambio climático, ello si los actuales programas de subsidios agrícolas, como Procampo,<sup>6</sup> implementaran políticas que incrementen sus apoyos sobre la base de los rendimientos producidos (y no sobre la extensión de los cultivos). En un artículo relacionado con este trabajo, Olivera-Villarroel y De la Fuente (2011) muestran que Procampo parece no mejorar la productividad agrícola del maíz en México. Su diseño, que tiene un gran alcance territorial, tendría que ser modificado para hacer frente al cambio climático.

En esta lógica, políticas tales como el Programa de Atención a Contingencias Climáticas (PACC)<sup>7</sup> brinda apoyos económicos desde 2003 a regiones donde los productores de bajos ingresos agrícolas sufrieron pérdidas en su producción agrícola por la ocurrencia de sequías –y, en menor medida, otros shocks por eventos climáticos–. Éstos permiten la reincorporación de los agricultores a sus actividades productivas. Ahora bien, investigaciones futuras

6 El Programa de Apoyos Directos al Campo (Procampo, actualmente denominado Componente Procampo para vivir mejor), se instrumenta a finales de 1993 y surge como un mecanismo de transferencia de recursos para compensar a los productores nacionales por los subsidios que reciben sus competidores extranjeros, en sustitución del esquema de precios de garantía de granos y oleaginosas. Ver [http://www.aserca.gob.mx/artman/publish/article\\_183.asp](http://www.aserca.gob.mx/artman/publish/article_183.asp).

7 Ver <http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesExternas/Paginas/ContingenciasClimatologicasPACC.aspx>.

deben indagar sobre el papel mediador de este tipo de políticas y otros mecanismos similares para enfrentar el cambio climático.

## **Conclusiones**

Las estimaciones desarrolladas a lo largo del estudio nos muestran que el cambio climático provocará un incremento en la temperatura media, así como en la variabilidad de las precipitaciones en México. La unión de estos efectos generará una reducción en la producción de maíz de temporal. Si bien es cierto que una disminución de los rendimientos agrícolas puede poner en riesgo a los agricultores de subsistencia y aumentar los precios del maíz, los efectos individuales dependerán de si los hogares rurales son productores de subsistencia o productores de alimentos destinados al mercado. Habrá ganadores y perdedores, tanto entre familias como a nivel regional; y se observará una tremenda heterogeneidad en los impactos, es decir, el cambio climático beneficiará a algunas regiones y perjudicará a otras.

Los rendimientos del maíz caerán de 2.6 a 3.4%, en promedio, para las temporadas agrícolas otoño-invierno y primavera-verano respectivamente, lo que se traduce de 23 585 a 420 281 toneladas de maíz para cada campaña agrícola. Es difícil prever si las pérdidas de maíz se asocian a un decremento de la seguridad alimentaria en las regiones de estudio, ya que los hogares y las regiones pueden tomar medidas de adaptación y frenar los impactos provocados por los fenómenos climáticos.

La predicción de los impactos del cambio climático sobre los rendimientos del maíz y su asociación con la seguridad alimentaria son un punto de partida para abordar la vulnerabilidad que las regiones tienen a fenómenos climáticos adversos. Si bien la capacidad de adaptación de los hogares es muy diversa, buena parte de esta adaptación consiste en la movilidad espacial, con sus consecuentes implicaciones socioeconómicas. La contribución del gobierno al proceso de adaptación podría darse a través de acciones para el crecimiento económico, políticas de precios,

transferencias y seguros. Además, la mejora en la producción de alimentos podría producirse mediante el implemento de mejores políticas e incentivos a la investigación como las recientes iniciativas para modernizar la investigación agrícola y el desarrollo de variedades de maíz más resistentes a sequías e inundaciones.

Por último, si bien el análisis realizado presenta estimaciones de las pérdidas promedio en los rendimientos de maíz asociados a los cambios de temperatura y las precipitaciones, tanto a nivel regional como municipal, se considera necesario evaluar el impacto distributivo del cambio climático en todos los grupos de población y evidenciar sus efectos en otros sectores asociados a la agricultura.

## Referencias

- ASSUNÇÃO, J. y F. Chein Feres. 2009. *Climate Change, Agricultural Productivity and Poverty*. Mimeo.
- BANCO MUNDIAL. 2011. “Portal de cambio climático banco mundial”. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>
- CHAMBERS, R. 1982. *Health, agriculture, and rural poverty: why seasons matter*. IDS Discussion Paper 148. Brighton: IDS.
- CLINE, W. 2007. *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington, DC: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.
- CONDE, C. 2008. *México y el Cambio Climático Global. Rumbo a la COP16*. 3a ed. México: Semarnat/UNAM.
- DESCHENES, O. y M. Greenstone. 2006. *The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Profits and Random Fluctuations in Weather*. Center for the Study of Energy Markets. Working Paper 158.
- DZIEGIELEWSKA, D. y R. Mendelsohn. 2005. “Valuing Air Pollution Damages in Poland”. *Environmental and Resource Economics* 30: 131-163. DOI: 10.1007/s10640-004-1515-2.
- FAOSTAT. 2010. “Food and agriculture data”. <http://faostat.fao.org>.

- GALINDO, L. M. 2008. *La Economía del Cambio Climático en México*. México: Semarnat.
- GARCÍA-CONDE, A. G. 2008. "Hidrógeno y pilas de combustible". En *Fuentes de energía para el futuro*, 91-112. Madrid: Subdirección General de Información y Publicaciones.
- GAY, C., C. Conde, H. Eakin y L. Villers. 2006. "Potential impacts of climate change on agriculture: a case of study of coffee production in Veracruz, México". *Cambio Climático* 79, n.º 3: 259-288.
- GUITERAS, R. 2009. *The Impact of Climate Change on Indian Agriculture*. Mimeo.
- GREENE, W. 2000. *Econometric Analysis*. Upper Saddle River, N. J.: Pearson Prentice Hall.
- HARDIN, J. y J. Hilbe. 2003. *Generalized Estimating Equations*. Londres: Chapman and Hall/CRC.
- HERTEL, T. y S. Rosch. 2010. "Climate Change, Agriculture and Poverty". *Applied Economics Perspectives and Policy*: 1-31.
- INEGI. 2010. "El Sector Alimentario en México 2010". [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/SAM/2010/sam2010.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/SAM/2010/sam2010.pdf).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2001. *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the IPCC*, informe compilado por R. T. Watson y el Core Team. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- . 2007. *Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.
- . 2012. "Summary for Policymakers". En *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, editado por C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor y P. M. Midgley, 1-19. Cambridge: Cambridge University Press.

- KURUKULASURIYA, P. *et al.* 2006. "Will African Agriculture Survive Climate Change?". *The World Bank Economic Review* 20, n.º 3: 367-388.
- KURUKULASURIYA, P. y M. Ajwad. 2006. "Application of the Ricardian Technique to Estimate the Impact of Climate Change on Smallholder Farming in Sri Lanka". *Climatic Change* 81, n.º 1: 39-59.
- KURUKULASURIYA, P. y S. Rosenthal. 2003. *Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations*. Climate Change Series 91. Environment Department Papers. Washington, DC.: World Bank.
- LIANG, X., D. P. Lettenmaier, E. F. Wood y S. J. Burges. 1994. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 99: 14415-14428.
- MENDELSON, R. y A. Dinar. 1999. "Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter?". *World Bank Research Observer*, n.º 14: 277-293.
- \_\_\_\_\_. 2000. "Efficient adaptation to climate change". *Climate Change*, n.º 45: 583-600.
- \_\_\_\_\_. 2003. "Climate, water, and agriculture". *Land Economics* 79: 328-341.
- MENDELSON, R. y W. Nordhaus. 1996. "The impact of global warming on agriculture: Reply". *American Economic Review* 86: 1312-1315.
- \_\_\_\_\_. 1999. "Reply to Quiggin and Horowitz". *American Economic Review* 89: 1046-1048.
- MENDELSON, R., W. Nordhaus y D. Shaw. 1994. "The impact of global warming on agriculture: A ricardian analysis". *American Economic Review* 84: 753-771.
- \_\_\_\_\_. 1996. "Climate impacts on aggregate farm values: Accounting for adaptation". *Agriculture and Forest Meteorology* 80: 55-67.
- MENDELSON, R., A. Dinar y A. Sanghi. 2001. "The effect of development on the climate sensitivity of agriculture". *Environment and Development Economics* 6: 85-101.

- OECD. 2006. *Policy brief: Agricultural Policies in Mexico*. Policy Note. París: OCDE.
- OLIVERA-VILLARROEL, S. M. y A. de la Fuente. 2011. "Climate Change, Rainfed Maize Productivity and Agricultural Subsidies in Mexico". Background paper for the Poverty and Social Impact Analysis on Building Resilience of the Poor to Disaster and Climatic Risk in Mexico. World Bank.
- OLIVERA-VILLARROEL, S. M., G. B. Raga y R. Orbe. 2012. "The economic effects of intense rainfall in central states of the Pacific coast of Mexico: Global warming impacts on agriculture". *The International Journal of Climate Change Impacts and Responses*. <http://ijc.cgpublisher.com/product/pub.185/prod.123>.
- RICARDO, D. 1815. *An Essay on Profits*. Londres: John Murray. [www.econlib.org/library](http://www.econlib.org/library).
- SANGHI, A., D. Alves, R. Evenson y R. Mendelsohn. 1997. "Global warming impacts on Brazilian agriculture: Estimates of the Ricardian model". *Economia Aplicada* 1, n.º 1: 7-33.
- SANGHI, A., R. Mendelsohn y A. Dinar. 1998. "The climate sensitivity of Indian agriculture". En *Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture*, coordinado por A. Dinar, R. Mendelsohn, R. Evenson, J. Parikh, A. Sanghi, K. Kumar, ... S. Lonergan, 69-139. World Bank.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN DE MÉXICO (Sagarpa). 2010. "Estadística de la Producción Agrícola". <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- SEMARNAT. 2010. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Edición 2010*. México: Semarnat.
- SEO, S. N., A. Dinar y P. A. Kurukulasuriya. 2008. *Ricardian Analysis of the Distribution of Climate Change Impacts on Agriculture Across Agro-Ecological Zones in Africa*. World Bank Policy Research Working Paper No. 4599. Washington DC.

- SEO, N. y R. Mendelsohn. 2007. *A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on Latin American Farms*. World Bank Policy Research Series Working Paper 4163. Washington DC.
- SIAP. 2008. “Anuario Agrícola”. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp)
- ZORN, C. J. 2001. “Generalized Estimating Equation Models for Correlated Data: A Review with Applications”. *American Journal of Political Science* 45, n.º 2 (abril): 470-490.

## Anexo 1. Estadísticas a nivel municipal

Variables	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Superficie sembrada	Ha/por municipio	0	52 738	2 573.907	4 141.257
Superficie cosechada	Ha/por municipio	0	52 738	2 154.533	3 571.776
Rendimiento agrícola	Ton por Ha	0.05	15	1.656833	1.186579
Precio	\$			2 213.371	657.2503
Costo por Ha	MX\$	2 367.5	12 301.4	4 409.906	2 239.191
Temperatura media diaria (mayo-agosto)	C°	12.88	21.17	20.16	4.57
Precipitación (acumulada mm <sup>3</sup> por año)	mm	0	732.6624	267.1629	56.12512
<i>Proyecciones</i>					
Temperatura 2030-2039	C°	11.60	31.85	23.43	4.44
Precipitación 2030-2039	mm	2.00	609.00	149.68	80.99

Fuente: elaboración propia.

## 8. Agua, recurso primordial para alcanzar la seguridad alimentaria

María Eugenia Olvera Varillas

### Introducción

El agua es clave para la seguridad alimentaria, principalmente porque los cultivos y el ganado la necesitan para crecer. La agricultura requiere grandes cantidades de agua para el riego, la cual debe ser de buena calidad para ser utilizada en diversos procesos de producción. Mientras se alimenta al mundo y se produce una amplia gama de cultivos no alimentarios como el algodón, el caucho y los cultivos propios para producir aceites industriales de manera cada vez más intensa, la agricultura confirma su posición como el mayor consumidor de agua en el mundo. El uso agrícola del recurso hídrico a nivel mundial es 72% de la extracción total (Conagua 2012).

Los agricultores de pequeña escala proporcionan la mayor parte del suministro mundial de alimentos. Sin embargo, a menudo ocupan tierras que dependen sobre todo de las precipitaciones para la producción de cultivos. La agricultura de secano es en especial vulnerable al cambio climático y tendrá que adaptarse a las implicaciones en los patrones de precipitación, temperatura y eventos climáticos extremos.

La definición de seguridad alimentaria según la FAO (2013) es: “cuando todas las personas tienen acceso físico, social y econó-

mico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable”. Es claro que no toda la producción de cultivos está dedicada a la seguridad alimentaria, es decir, los cultivos industriales y los cultivos para bebidas no contribuyen de forma directa al consumo de kilocalorías de las personas. En general, la gestión del agua en los sistemas agrícolas tiende a concentrarse en cultivos alimenticios donde el tiempo y el suministro son críticos. La gestión del agua (riego, drenaje, conservación y manejo) logra la estabilidad de la producción de los cultivos, al mantener las condiciones del suelo para el crecimiento de la planta (Banco Mundial 2018).

En este sentido, debemos tomar en cuenta que el aumento en la temperatura afectará la demanda de agua y, cuando disminuya la precipitación, se buscarán distintas formas de riego para garantizar la seguridad alimentaria y así mantener los medios de subsistencia. Como el riego es practicado en sólo 21% de las tierras cultivadas del mundo, ha habido muchas personas, a menudo los más pobres, que han perdido estabilidad económica y nutricional (FAO 2014).

Existe un gran interés en satisfacer las necesidades futuras en la producción de alimentos a través de la agricultura de secano con la implementación de prácticas sustentables y eficaces como un sustituto parcial de la irrigación. A su vez, las concesiones de agua dadas a la agricultura pueden disminuir en muchas partes del mundo debido a los impactos combinados del cambio climático, las necesidades ambientales y la competencia de los sectores económicos de mayor valor. Por ello se prevé que habrá una fuerte presión para producir más con menos agua. Así, esta tarea será aún más desafiante y requiere una proyección más detallada.



Figura 1. Superficie cultivada con riego a nivel mundial. Fuente: adaptado de FAO (2014).

Por esta razón, el presente capítulo tiene como objetivo dar a conocer los principales cambios climáticos que el mundo, y México, en específico, experimentó en los últimos años y cómo estos afectaron el sistema agrícola.

### El escenario climático global

El cambio climático afectará a la agricultura porque ocasionará temperaturas más altas y precipitaciones variables. Esto es debido a que se observa un aumento sin precedentes en las temperaturas atmosféricas que se correlaciona con los rápidos aumentos del dióxido de carbono en la atmósfera.

Cada año, el Global Carbón Project (GCP) proporciona una estimación del presupuesto global de carbono, donde estima tanto la liberación como la captación de carbono, incluidas las emisiones de combustibles fósiles y la industria, las emisiones de los cambios en el uso del suelo, el carbono absorbido por los océanos y la tierra, además de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> (Global Carbon Project 2018). Esto difiere del término comúnmente usado *carbón budget* en referencia a la cantidad de emisiones que quedan para cumplir con el objetivo climático de evitar un aumento en 2 °C de la temperatura global (World Resources Institute 2015).

El presupuesto más reciente, incluidos los valores estimados para 2018, se muestra en la siguiente figura. Los valores por encima de cero representan fuentes de CO<sub>2</sub> provenientes de com-

bustibles fósiles y del uso de la tierra, mientras que los valores por debajo de cero representan sumideros de carbono, donde se absorbe el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, ya que estas emisiones se acumulan en la atmósfera o son absorbidas por los océanos o la vegetación terrestre.

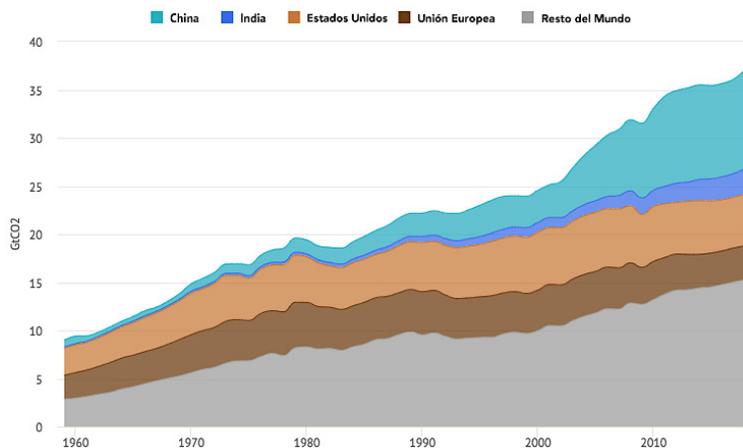


Figura 2. Histórico de emisiones de combustibles fósiles (1959-2018). Fuente: adaptado de Carbon Brief (2018).

Los cambios en el uso de la tierra, como la deforestación y los incendios, representaron 10.6% de las emisiones totales de  $\text{CO}_2$  en 2018, un poco menos que el 12.6% en 2017; el restante 89% de las emisiones provino de combustibles fósiles y de la industria. Según las estimaciones del GCP, alrededor de 43% del  $\text{CO}_2$  emitido en 2018 se acumula en la atmósfera. El resto fue absorbido por sumideros de carbono –35% por los suelos y 23% por el océano–. Se proyecta que la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera aumente en 2.2 partes por millón (ppm), alcanzando 407 ppm en 2018. Este aumento es cercano al aumento promedio de la última década, a pesar de las emisiones récord actuales; esto se debe a las condiciones neutrales de El Niño (Carbon Brief 2018).

Las grandes emisiones de CO<sub>2</sub> han ocasionado el aumento de la temperatura global (lo cual ha tenido impactos en los cultivos), además de la combinación de los efectos directos como el aumento de la demanda de agua (debido a la evaporación) y la disponibilidad de humedad del suelo determinada por la precipitación. El aumento de la temperatura provoca la frecuencia, la duración y el riesgo de las sequías. Así, las interacciones entre los efectos del cambio climático, el agua y la agricultura son numerosos, complejos y específicos de las distintas regiones agroecológicas. Por ejemplo, en 2017 se produjeron eventos climáticos extremos en todo el mundo, desde fuertes huracanes en los Estados Unidos y el Caribe hasta olas de calor en Australia y devastadoras inundaciones en Asia. Además, se ha demostrado que muchos de estos eventos se han hecho más frecuentes por el calentamiento global (Carrington 2018).

El presupuesto más reciente, incluidos los valores estimados para 2018, se muestra en la siguiente figura. Los valores por encima de cero representan fuentes de CO<sub>2</sub> provenientes de combustibles fósiles y del uso de la tierra, mientras que los valores por debajo de cero representan sumideros de carbono, donde se absorbe el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, ya que estas emisiones se acumulan ahí o son absorbidas por los océanos o la vegetación terrestre.

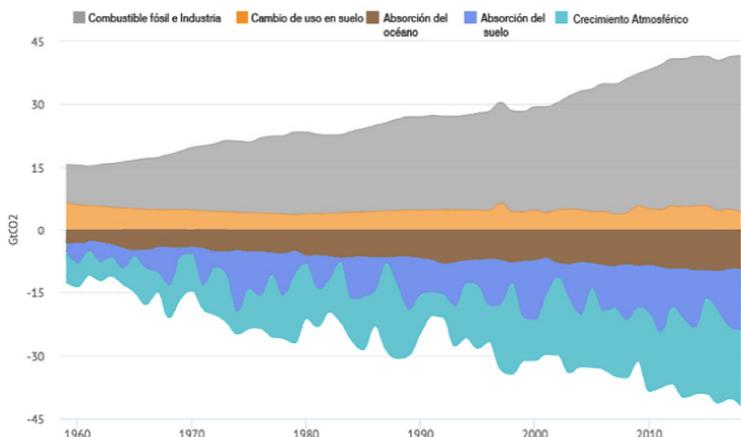


Figura 3. Presupuesto anual de carbono a nivel global (1959-2017). Fuente: adaptado de Carbon Brief (2018).

Los efectos del aumento de la temperatura varían debido a los déficits de agua, lo que demuestra que será necesario comprender la interacción entre la temperatura y el agua para desarrollar estrategias de adaptación más efectivas para compensar los impactos de eventos extremos que tengan consecuencias en los recursos hídricos. Además, estos cambios en el ciclo hidrológico podrían afectar realmente la producción de alimentos en casi todo el mundo, lo cual desestabilizaría la cadena de valor de los mercados agroalimentarios y pesqueros, así como la seguridad alimentaria y el manejo del agua para la humanidad.

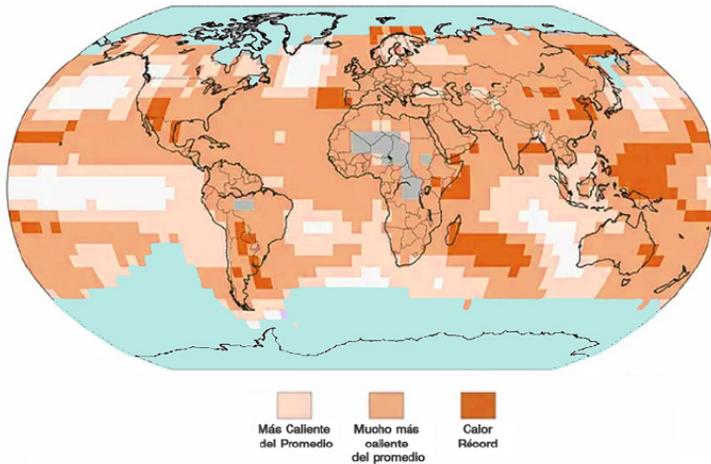


Figura 4. Temperatura global de los océanos y la tierra, año 2017. Fuente: adaptado de NOAA (2017).

### El panorama en México

Ahora bien, la agricultura en México es altamente vulnerable al clima extremo, en particular en las partes norte del país, donde la escasez de agua es un problema o, bien, en las partes sur del país, donde las tormentas tropicales causan daños importantes a la producción agrícola y ganadera. Los cambios en la temperatura disminuyen los rendimientos de las plantas por el estrés que esto les ocasiona, por lo que ciertos cultivos dejan de ser adecuados en algunas regiones, incluso se atenúa la presencia de plagas y enfermedades en zonas en donde antes no existían. De igual manera, con el cambio climático se afecta el suministro de agua y su calidad. Así, la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático es de suma importancia para el sector agroalimentario mexicano, al considerar el papel que desempeña en la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia de las poblaciones rurales.

A continuación, se muestran las limitaciones ambientales para la producción agrícola en México.

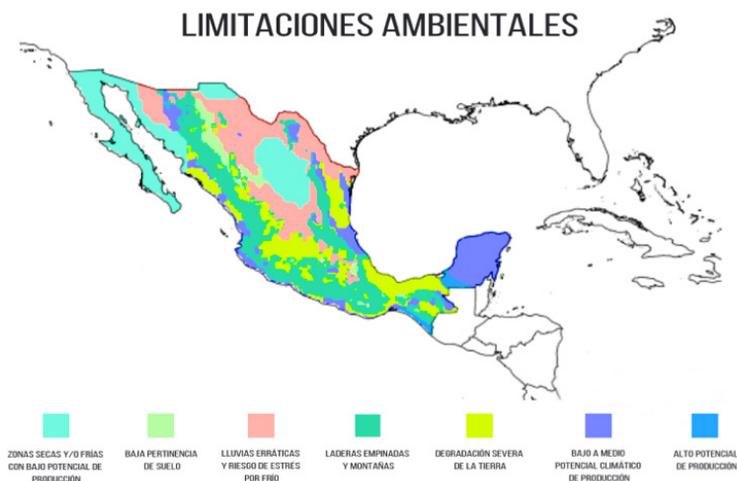


Figura 5. Principales limitaciones ambientales para la producción agrícola. Fuente: adaptado de FAO (2018).

Si consideramos que en México se sembraron 22 millones de hectáreas (ha) en 2017 (SIAP 2017), dichas limitaciones ambientales impactan en la producción nacional. Según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi 2017), casi 75% de las unidades de producción reportan pérdidas, siendo las sequías el principal factor con 45%; los fenómenos naturales relacionados con el viento afectan a 32%; mientras que el exceso de humedad afecta a casi 26%. En seguida se muestra la gráfica complementaria de efectos climáticos que impactan la producción nacional.

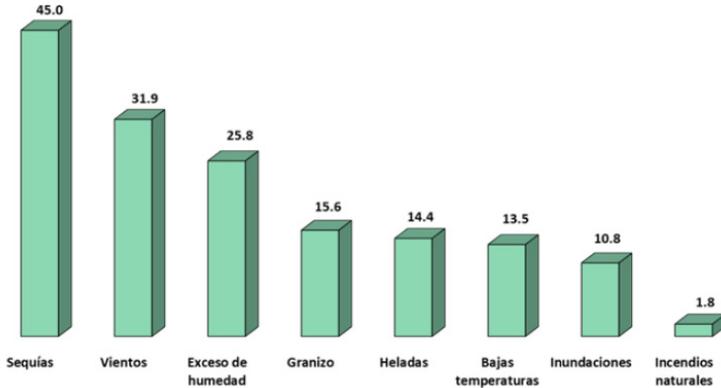


Figura 6. Porcentaje de unidades de producción con pérdidas de cosecha o animales por causas climáticas, 2017. Fuente: adaptado de Inegi (2017).

Identificar y priorizar prácticas adaptativas y sustentables para un manejo eficiente de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático no es tarea fácil, ya que existe incertidumbre respecto al efecto del cambio climático y el potencial de los sistemas agrícolas para hacerle frente. Es decir, más allá de la eficiencia del agua en la agricultura, el desafío primordial es la construcción de sistemas agronómicos que sean menos dependientes del agua, por lo cual considerar la gestión del agua sin puntualizar alternativas viables al cambio climático no es una opción.

### **Sistemas agroalimentarios más resilientes**

Se estima que la población mundial crecerá más de 20% para 2050, superando los 9 mil millones de habitantes. Por ello, la agricultura deberá producir 70% más de alimentos con el fin de mantener la seguridad alimentaria (FAO 2017). Ante este escenario, la realidad es desafiada por el cambio climático, los cambios socioeconómicos y la cantidad de agua utilizada y aprovechada

ineficientemente por algunas actividades, lo que complica el camino hacia la seguridad alimentaria.

Para producir una caloría de alimento se requiere un litro de agua, y una sola persona necesita diariamente 3 mil calorías. Es decir, para satisfacer las necesidades alimentarias diarias de cada habitante en el planeta se necesitan 2 mil litros de agua por persona. Por poner un ejemplo, para producir una hamburguesa se necesitan 2 400 litros de agua y 400 litros para producir una sola rebanada de pan (InfoAgro 2018).

Los agricultores de pequeña escala son fundamentales en la transición hacia un sistema agrícola resiliente, ya que pueden contribuir al crecimiento económico, a la reducción de la pobreza y a fortalecer la seguridad alimentaria. Sin embargo, si no cuentan con los medios para gestionar eficazmente el agua, no pueden convertir la agricultura en una actividad de subsistencia que les genere buenos ingresos. Además, el agua no es la única restricción para mejorar la producción de cultivos, pero si los agricultores no tienen acceso a información sobre nuevas prácticas agronómicas, las intervenciones para impulsar el campo fracasarán. Por lo tanto, la adaptación al cambio climático será trascendental, y los agricultores tendrán que cambiar aspectos de su sistema de producción agrícola para seguir cultivando alimentos bajo las nuevas condiciones climáticas.

Esto se logra a través de técnicas y prácticas sustentables como la adopción de la agricultura de conservación (AC), enfoque que tiene como objetivo mejorar de manera sostenible la productividad, los beneficios y la seguridad alimentaria mediante la combinación de tres principios: mínima labranza, cobertura permanente del suelo y rotación de cultivos. Cuando estos tres principios se cumplen, la AC mejora la calidad del suelo, optimiza los rendimientos de los cultivos y reduce los costos de los insumos (Wall 2007).

La AC representa un cambio fundamental en el pensamiento del sistema de producción. Tiene elementos que promueven la salud del suelo, la capacidad productiva y los servicios de los eco-

sistemas. Por lo tanto, la práctica de la AC requiere una comprensión más profunda para gestionar los diversos elementos para una intensificación sostenible, donde el objetivo es optimizar el uso de los recursos y proteger o mejorar los procesos de los ecosistemas a largo plazo.

Los beneficios de la AC en zonas de temporal son diversos, por ejemplo, la mínima labranza mejora la calidad del suelo y mejora la captación de agua que las plantas aprovechan para su desarrollo. Además, concentra la materia orgánica cerca de la superficie del suelo, es decir, acumula el carbono en el suelo y, por lo tanto, ayuda a mitigar los efectos del cambio climático (Hobbs, Sayre y Gupta 2007). Por su parte, en parcelas que se han labrado sin dejar residuos o rastrojo, el agua de lluvia suele perderse por escorrentía, lo que además implica arrastre de tierra y suelo. En cambio, el rastrojo que permanece en campo atrapa las gotas de lluvia y amortiguan el golpe, hay menos escurrimiento, mayor infiltración de agua y reducción de la pérdida de suelo por erosión (Hobbs, Sayre y Gupta 2007). Así, los cultivos que se siembran con las prácticas de la AC en condiciones de secano tienen acceso a más humedad.

Ahora bien, la precipitación es el componente principal del ciclo hidrológico y la responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta; en México, por ejemplo, la precipitación anual en promedio es de 740 mm. Cabe destacar que el país recibió un promedio ligeramente mayor a 821 mm anuales de precipitación anual entre 2004 y 2016, con fuertes variaciones de tipo temporal y espacial a lo largo del año y del territorio nacional, lo que provoca grandes desigualdades en su distribución.

Del total de lluvia que cae en México, 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera; 21.2% escurre por los ríos o arroyos, y 6.4% recarga los acuíferos al infiltrarse en el subsuelo en forma natural (Agua 2016).

En seguida se muestra la relación que tiene la precipitación en distintas regiones de México y el rendimiento dependiendo de la gestión del agua que se implemente (riego o temporal).



do, aplicar al cultivo el agua que requiere en cantidad, calidad y oportunidad para optimizar la producción es la opción para obtener buenos resultados. La AC aporta muchos otros beneficios relacionados con la conservación del suelo y el ambiente, ya que se necesita 25% menos agua en zonas de riego (Revista Claridades Agropecuarias 2011).

Por eso, la adaptación será trascendental, y los agricultores tendrán que cambiar aspectos de su producción para seguir cultivando alimentos bajo nuevas condiciones climáticas. Las prácticas que incrementen la capacidad de retención de agua de los suelos y su captura de carbono ayudarán también a reducir el uso de fertilizantes sintéticos. Los abonos de composta y la diversificación de cultivos incrementarían la resiliencia del suelo. La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) practicada en varias partes de México, que hace más eficiente la conservación del suelo y disminuye los escurrimientos causados en terrenos de ladera, es una tecnología económica y socialmente viable, además de ser eficiente para la producción de granos básicos (Sagarpa 2005).

De igual manera, la aplicación de riego suplementario es a menudo un elemento importante para mejorar la agricultura de temporal. Con los incentivos adecuados y las medidas para mitigar los riesgos para los agricultores individuales, la gestión del agua en la agricultura de secano tiene un gran potencial para aumentar la producción de alimentos y reducir la pobreza, mientras se mantienen los ecosistemas.

De acuerdo con Rockström *et al.* (2007), los pasos clave para aprovechar el potencial del agua de lluvia para aumentar los rendimientos y los ingresos son:

1. Hacer que el agua de lluvia esté disponible para los cultivos cuando más se necesita a través de la captación de lluvia, y almacenarla para usarla cuando sea necesario; agregar riego a los sistemas de secano, usarlo de manera más eficiente y reducir la cantidad que se evapora sin usar. Recolección de

agua, suplementaria, el riego, la agricultura de conservación y las tecnologías sustentables de pequeña escala son todas opciones probadas.

2. Construir capacidades; esto se logra por medio de los tomadores de decisión y los representantes de políticas públicas que necesitan desarrollar y aplicar estrategias de gestión del agua de lluvia, ya que los servicios de extensión necesitan habilidades y el compromiso para hacer llegar las técnicas de explotación de aguas pluviales a los agricultores y trabajar con ellos para adaptarse e innovar para su contexto específico.
3. Ampliar las políticas e instituciones hídricas y agrícolas, ya que la gestión del agua de lluvia en las cuencas y en las parcelas debería incluirse en los planes de gestión, y se necesitan instituciones de agua de apoyo para alcanzarlo.

Las tecnologías para optimizar el uso del agua son primordiales. De acuerdo con la FAO (2016), si para 2050 se adoptara tecnología para la captación de lluvia, se podría reducir 12% la población en riesgo de padecer hambre; otras, como el riego por goteo o el empleo de especies tolerantes a la sequía reduciría más de 7% la población en riesgo de padecer hambre. En México, del total de unidades de producción agrícola, 78% utiliza un sistema rodado o por gravedad que, si bien es mucho más eficiente que la agricultura de temporal, es el más ineficiente en cuanto a ahorro de agua, en comparación con los sistemas de goteo y de micro aspersión que son los más eficientes, aunque solamente los utilizan 9 y 5% de las unidades de producción agrícola, respectivamente.

### **Mejora en las políticas públicas**

Un análisis para la construcción de políticas públicas debe contener y ajustar el conocimiento de los principales eslabones que existen entre el cambio climático, el agua y la agricultura. Asimismo, tiene que identificar las brechas e incertidumbres de los efectos climáticos estacionales y extremos, la variabilidad del ciclo

hídrico y la disponibilidad del agua con estudios enfocados en la periodicidad concreta. Desde una perspectiva de mercados y cadena de producción, el impacto del cambio climático en el agua y las consecuencias en la agricultura son prioritarias para generar estrategias de mitigación y adaptación efectiva, como invertir en drenaje y control de agua para evitar inundaciones, o retención para combatir las sequías. Esto porque el incremento de temperatura provocará un alto riesgo para los sistemas de producción agrícola, los cuales necesitarán prácticas sustentables y adaptativas, específicamente por la escasez de recursos hídricos en ciertos periodos de crecimiento del cultivo que podrían requerir convenios de repartición de agua entre los consumidores. A través de la inversión pública y privada, será fundamental favorecer el crecimiento de los productores para tener en cuenta los riesgos asociados a la escasez de agua.

Ahora bien, para hacer frente a la degradación y el desperdicio, las instituciones que gestionan el agua deben ser más transparentes en sus mecanismos de asignación y fijación de precios. Básicamente, hay que otorgar derechos sobre el agua de forma justa e inclusiva. Además, para garantizar la seguridad en agua se debe valorar este recurso y, si es necesario, complementar las inversiones para mejorar la infraestructura sostenible de las ciudades (FAO 2011). Por lo tanto, se deben adoptar prácticas sustentables de gestión, de financiación y de rendición de cuentas, que les permitan a los agricultores acceder a tecnologías para el manejo del agua y recursos naturales y, así, lograr una productividad efectiva. Incluso, es primordial tener una comprensión suficiente de los efectos del cambio climático y de las alternativas para la población rural. Por ello, las políticas públicas son indispensables, pero, sobre todo, es esencial involucrar a los agricultores en la evaluación de riesgos y alternativas de mitigación.

## Referencias

- AGUA. 2016. “Agua en México. Un prontuario para la correcta toma de decisiones”. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/Agua-en-Mexico-Un-prontuario-para-la-correcta-toma-de-decisiones-2017.pdf>.
- BANCO MUNDIAL. 2018. “El agua en la agricultura”. <http://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>.
- CARBON BRIEF. 2018. “Analysis: Fossil-fuel emissions in 2018 increasing at fastest rate for seven years”. <https://www.carbonbrief.org/analysis-fossil-fuel-emissions-in-2018-increasing-at-fastest-rate-for-seven-year>.
- CARRINGTON, D. 2018. “2017 was the hottest year on record without El niño boost”. *The Guardian*. Enero, 18. <https://www.theguardian.com/environment/2018/jan/18/2017-was-the-hottest-year-on-record-without-el-nino-boost>.
- CIMMYT. 2014. “Estudio de CCAFS revela que la cero labranza tiene poco potencial para mitigar los efectos del cambio climático”. <https://www.cimmyt.org/es/uncategorized/estudio-de-ccafs-revela-que-la-cero-labranza-tiene-poco-potencial-para-mitigar-los-efectos-del-cambio-climatico/>.
- \_\_\_\_\_. 2018. “Agricultura de conservación”. <https://intensificacion-sustentable.cimmyt.org/agricultura-de-conservacion/>.
- CONAGUA. 2012. “Estadísticas del Agua en México, 2011”. [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo\\_8.pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf).
- COUSTEAU, J. Y. 1968. Guiones didácticos: viaje al fondo del mar. *Vida escolar*.
- COUSTEAU, J. Y. y F. Dumas. 1953. *The silent world*. Nueva York: Reaction books.
- FAO. 2011. “Climate change, water and food security”. <http://www.fao.org/docrep/014/i2096e/i2096e.pdf>.
- \_\_\_\_\_. 2013. “Seguridad y Soberanía Alimentaria”. <http://www.fao.org/3/a-ax736s.pdf>.

- \_\_\_\_\_. 2014. "Superficie equipada para el riego". [http://www.fao.org/nr/water/aquas-tat/infographics/Irrigation\\_esp.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquas-tat/infographics/Irrigation_esp.pdf).
- \_\_\_\_\_. 2016. "El estado mundial de la agricultura y la alimentación". <http://www.fao.org/3/a-i6132s.pdf>.
- \_\_\_\_\_. 2017. "Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo". <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- \_\_\_\_\_. 2018. "México: Map" <http://www.fao.org/countryprofiles/maps/map/en/?iso3=MEX&ma-pID=604>.
- FONDO PARA LA COMUNICACIÓN Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL, A. C. 2017a. "Agua en México, Un prontuario para la correcta toma de decisiones". <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/Agua-en-Mexico-Un-prontuario-para-la-correcta-toma-de-decisiones-2017.pdf>.
- \_\_\_\_\_. 2017b. "Sistemas de riego y disponibilidad del agua". <https://agua.org.mx/actualidad/tipos-riego-disponibilidad-del-agua/>.
- GLOBAL CARBON PROJECT. 2018. "About GCP". <http://www.globalcarbonproject.org/about/index.htm>.
- HOBBS, P. R., K. Sayre y R. Gupta. 2007. "The role of conservation agriculture in sustainable agriculture". *Philosophical transactions of the Royal Society of London. B, Biological sciences* 363, n°. 1491: 543-555. doi:10.1098/rstb.2007.2169.
- INEGI. 2017. "Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. Conociendo el campo de México. Resultados". [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2017/doc/ena2017\\_pres.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2017/doc/ena2017_pres.pdf).
- INFOAGRO. 2018. "Importancia del agua en la agricultura". <https://infoagro.com/mexico/importancia-del-agua-en-la-agricultura/>.
- MASAGRO. 2016. "Conservación. Cimmyt". [http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc\\_view/2000-ique-es-la-agricultura-de-conservacion-ac](http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/2000-ique-es-la-agricultura-de-conservacion-ac).
- NOAA. 2017. "National Oceanic and Atmospheric Administration". <https://www.noaa.gov/>.
- REVISTA CLARIDADES AGROPECUARIAS. 2011. "Agricultura de Conservación". <https://info.aserca.gob.mx/claridades/revistas/220/ca220-42.pdf>.

- ROCKSTRÖM, J., N. Hatibu, T. Oweis, S. Wani, J. Barron, Z. Qiang y L. Karlberg. 2007. “Managing Water in Rainfed Agriculture”. En *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, editado por D. Molden, 315-352. Londres: Earthscan.
- SAGARPA. 2005. “Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF)”. <https://www.yumpu.com/es/document/view/14659343/milpa-intercalada-con-arboles-frutales-miaf-sagarpa>.
- SIAP. 2017. “Anuario Estadístico de la Producción Agrícola”. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- WALL, P. 2007. “Tailoring Conservation Agriculture to the Needs of Small Farmers in Developing Countries”. *Journal of Crop Improvement* 19, n°. 1-2: 137-155. doi: 10.1300/J411v19n01\_07.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE. 2015. “INFOGRAPHIC: The Global Carbon Budget”. <https://www.wri.org/ipcc-infographics>.

# CIENCIAS SOCIALES



## 9. El acceso a la energía eléctrica sustentable: derecho humano fundamental

Marco Antonio Heredia Fragoso

### Introducción

La energía eléctrica es un insumo indispensable para el desarrollo de la vida en sociedad tal como la conocemos hoy. Además, es un elemento instrumental que permite hilvanar el tejido social y construir, comunicar, difundir y replicar el conocimiento y la información del mundo, de la naturaleza, los ecosistemas y las especies que lo integramos. El carácter eminentemente instrumental de la energía eléctrica para la viabilidad social trasciende a lo que puede considerarse como un mero servicio comercial y constituye un satisfactor indispensable para el desarrollo.

Dada su importancia, es preciso mencionar que la forma como se genera, se transmite y se provee la energía eléctrica acarrea impactos significativos en los ámbitos ambiental, económico y social, es decir, en las diferentes dimensiones de la sustentabilidad, particularmente en relación con las emisiones de CO<sub>2</sub> y el cambio climático. Por ello, las decisiones respecto de *a*) cómo se genera la energía eléctrica; *b*) de qué forma se articula su distribución; *c*) cómo se garantiza el acceso universal a este recurso, y *d*) el modo como los usuarios emplean dicho recurso, precisa de un enfoque

que considere los tres ámbitos aludidos y no sólo se centre en resolver la operación de plantas de generación y la satisfacción de la demanda de energía en el corto plazo.

En sus orígenes en México, en el último cuarto del siglo XIX, todavía gobernada por la constitución liberal de 1857, la generación de energía eléctrica se realizó principalmente por particulares para particulares utilizando para ello capital mexicano. El papel del gobierno en el desarrollo inicial de esta industria fue modesto. Sin embargo, ya para la primera mitad del siglo XX, al amparo de las disposiciones liberales y sociales de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (en lo sucesivo la Constitución) de 1917, empresas privadas, sobre todo extranjeras (De la Garza Toledo *et al.* 1994), se centraron en proveer servicios de energía eléctrica a centros urbanos de población. Entonces se buscaba obtener ganancias antes que buscar la electrificación del país y de las zonas apartadas de las grandes ciudades.

Después a la década de 1940, el capital público se acrecentó junto con el despliegue de la estrategia del gobierno mexicano para establecer control a los precios de la energía eléctrica y para desarrollar vertical y horizontalmente a la empresa pública de electricidad en México: la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y su cuerpo técnico de trabajadores. Posterior a 1960, la industria eléctrica se consolida como una actividad exclusiva del Estado, descartando cualquier tipo de actividad de particulares, y la sujeta al crecimiento y la forma en que la CFE debería generar, transmitir, comercializar y prestar el servicio público de energía eléctrica a las decisiones políticas de la administración gubernamental en turno y deja de lado cualquier tipo de participación de particulares o del sector social en dicha industria.

No es sino hasta la reforma energética de finales de 2013 cuando se abre la posibilidad de que el sector privado y el social participen en diversas actividades de la industria eléctrica que no impliquen la prestación del servicio público de energía eléctrica o el control del Sistema Eléctrico Nacional. En esta quinta fase de la

industria eléctrica en México, el Estado participa en un mercado de energía eléctrica mediante la figura de la CFE en calidad de empresa productiva del Estado. Esta reforma a la Constitución ocurre en un contexto normativo inédito en donde el respeto y garantía de los derechos humanos es una obligación irrestricta de todas las autoridades que conforman al Estado Mexicano.

En efecto, el 10 de junio de 2011 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* el decreto modificatorio de la Constitución para incluir lo que se puede identificar en la teoría como el régimen garantista de derechos humanos. En este régimen, todas las personas deben gozar de los derechos humanos reconocidos en la propia Constitución, así como aquéllos que se incluyan en los tratados internacionales de los que el Estado Mexicano forma parte. El ejercicio de éstos no puede restringirse ni suspenderse, sino en los casos y condiciones establecidas en el texto constitucional. De igual manera, la reforma de 2011 establece la obligación de interpretar las normas de derechos humanos favoreciendo a las personas en todo momento con la protección más amplia, en lo que se conoce como el “principio de interpretación pro-persona”. Así, todas las autoridades del Estado Mexicano tienen la obligación de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos y considerar los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad. Como consecuencia de lo anterior, el Estado deberá prevenir, investigar, sancionar y reparar las violaciones a los derechos humanos conforme lo establezca la Ley. En este marco de respeto y protección de los derechos humanos, se insertan derechos como el de vivienda digna y decorosa; a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar; al desarrollo integral y sustentable, al aprovechamiento racional y sustentable de los recursos naturales. Además, se establece la obligación de incorporar criterios y mejores prácticas en la eficiencia en el uso de la energía, disminución en la generación de gases y compuestos de efecto invernadero, eficiencia en el uso de recursos naturales, baja generación de residuos y emisiones, la menor huella del

carbono en sus procesos y obligaciones en materia de energías limpias conforme al Artículo 17 transitorio de la Reforma Energética de 2013. Todas las anteriores constituyen condiciones necesarias para el respeto a la dignidad y para garantizar la igualdad de las personas.

En este contexto, es posible afirmar la existencia de un derecho de acceso a la energía eléctrica sustentable, que constituye una consecuencia normativa derivada de la interpretación coherente y sistemática de los diferentes derechos humanos que establece la constitución y los tratados internacionales, y que el Estado (en sus diferentes formas de expresión) está obligado a promover, respetar, proteger y garantizar. Bajo este marco contextual, la investigación busca explorar dicha relación entre energía y derechos humanos, con el fin de dar a conocer las obligaciones de los diferentes actores del Estado ante este derecho. Para este fin se realizó una revisión bibliográfica y documental sobre el tema y se logró identificar los puntos de inflexión donde el gobierno mexicano intervino en los últimos años.

## **Desarrollo**

El derecho humano de acceso a la energía eléctrica sustentable es el resultado lógico-normativo de la interpretación coherente y sistemática de los derechos humanos de vivienda digna y decorosa. Esto en relación con el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar, el derecho al desarrollo integral y sustentable, el derecho al aprovechamiento racional y sustentable de los recursos naturales, así como de la obligación de incorporar criterios y mejores prácticas en la eficiencia en el uso de la energía, disminución en la generación de gases y compuestos de efecto invernadero, eficiencia en el uso de recursos naturales, baja generación de residuos y emisiones, la menor huella del carbono en sus procesos y obligaciones en materia de energías limpias contenidos en la Constitución.

Los derechos humanos son el conjunto de prerrogativas inherentes a la naturaleza de la persona, cuya realización resulta indispensable para el desarrollo integral del individuo que vive en una sociedad jurídicamente organizada. Al encontrarse en la Constitución, en tratados o acuerdos internacionales de los cuales nuestro país forma parte, el Estado Mexicano debe respetarlos y garantizar su realización efectiva. Se trata de derechos universales porque se instituyen a favor de todas las personas. Son permanentes debido a que no se pueden suprimir o limitar, ya que se vinculan con la dignidad de las personas. Son progresivos porque se dirigen a la atención de necesidades personales y colectivas en transformación que no puede regresar hacia estadios de beneficio anteriores a los ya alcanzados. Son preexistentes porque se reconocen sobre la base de la dignidad humana como preminente a cualquier instancia que les reconozca. Se trata de derechos interdependientes porque la violación a un derecho humano genera que otros sean igualmente vulnerados y su protección debe ser integral, por lo que deben ser considerados como indivisibles.

### **Distinción entre derechos humanos y derechos fundamentales**

Los derechos humanos en ocasiones se confunden con los derechos fundamentales, aunque es posible reconocer diferencias entre una y otra categoría. Ferrajoli (2006) denomina *derecho fundamental* a aquella disposición necesaria para la paz, para defender los derechos de igualdad de las minorías que garantizan un pleno multiculturalismo, y a los derechos que protegen al débil frente al más fuerte. Huerta (2010) aclara que los derechos deben revestir una característica formal de pertenencia a la norma suprema y en ello se centra el primer elemento de identificación. Un derecho fundamental siempre se encuentra en la Constitución, sin embargo, no todos los derechos constitucionales son derechos fundamentales. En eso se centra el segundo elemento que permite reconocer un derecho fundamental: su elemento material. Bernal Pulido (2015) propone que un derecho fundamental

se dirige a la protección de necesidades básicas de la persona frente a la propia sociedad y frente al Estado. Por ejemplo, la alimentación, la salud, la vivienda o un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de las personas, en este caso, en la lucha contra el cambio climático como un derecho al desarrollo integral y sustentable. Esto se deriva de que ahí donde el individuo no puede cubrir sus necesidades básicas por sí mismo, entonces por un principio de solidaridad, el Estado debe garantizar el acceso y la realización de dichos satisfactores.

Así, un derecho fundamental atiende las necesidades básicas de la persona y permite afirmar la garantía de acción del Estado para asegurar el acceso a satisfactores que atiendan dichas necesidades. Al encontrarse en la Constitución, su carácter normativo es superior al de cualquier disposición que le siga en orden jerárquico, por lo que las normas legisladas y otras derivadas de la acción del gobierno en el sistema normativo deben alinearse y ser congruentes con los derechos fundamentales y, así, interpretarse con miras a maximizar las condiciones que favorezcan a las personas por tratarse de prerrogativas que buscan proteger la equidad y minimizar las condiciones que generan desigualdad y vulnerabilidad por exceso o defecto de la actuación de las autoridades o de otros individuos frente a ellos.

En tanto, los *derechos humanos* buscan proteger un ámbito de la dignidad humana por el simple hecho de la condición humana preexistente a todo tipo de reconocimiento gubernamental, el *derecho fundamental* precisa la incorporación a la Constitución como requisito de formalidad. El derecho fundamental ya incorporado al sistema jurídico en la Constitución genera que las normas que se opongan a su contenido sean inaplicables a los casos concretos en donde se pretendan aplicar y, en consecuencia, se garantice la constitucionalidad de los actos de las autoridades. Los derechos humanos tienen una validez universal, es decir, para todas las personas en donde se encuentren, mientras que un derecho fundamental se circunscribe al ámbito espacial en donde una Cons-

titución o una norma suprema que tenga dichas características sea reconocida como válida y en vigor. Esto no es el caso en otras latitudes, en países como Canadá, Alemania o, bien, en la mayor parte de los Estados Unidos de América.

El caso de México es importante debido a que el régimen garantista de derechos humanos que el país ha adoptado a partir de la reforma de 2011, junto con el derivado de la reforma energética de 2013, generan implicaciones normativas distintas a las conocidas en las fases anteriores de la industria eléctrica en México. Dichas implicaciones desembocan en el derecho humano fundamental de acceso a la energía eléctrica sustentable que se propone en este trabajo. El acceso a la energía eléctrica sustentable tiene que ver con la obligación del Estado a proporcionar de manera universal, de forma asequible (con tarifas apropiadas y/o preferenciales), energía eléctrica confiable, segura, eficiente y sustentable (Heredia 2018). Este *statu quo* motiva y requiere un análisis profundo sobre dichas implicaciones, particularmente respecto a la congruencia de las decisiones de las autoridades en este sector estratégico del desarrollo nacional.

### **Derecho a una vida y vivienda dignas**

El derecho internacional reconoce en diversos instrumentos el derecho humano a un nivel de vida adecuado, en donde se incluye el derecho a una vivienda adecuada. El Artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos (ONU 1948) establece que “toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda y los servicios sociales necesarios”. En ello coincide el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, y la Convención sobre la Eliminación de todas las formas de discriminación contra la mujer, que establecen que los Estados asegurarán el goce de condiciones de vida adecuadas, particularmente en las esferas de

vivienda, servicios sanitarios, electricidad y el abastecimiento de agua, el transporte y las comunicaciones.

De hecho, aunque la carencia de electricidad afecta a hombres y a mujeres, en estas últimas el impacto es mayor. Se estima, por ejemplo, que las mujeres rurales trabajan alrededor de 18 horas en tareas que ellas desempeñan socialmente, mientras que para el caso de los hombres trabajan un tiempo aproximado de 12 horas (Larrea 2015). En zonas urbanas, se estima que las mujeres trabajan 15 horas, mientras que los hombres 10 horas. El uso de la energía eléctrica tiene mayor relevancia en las actividades diarias de las mujeres, por lo que su carencia representa una mayor desventaja social.

Otros instrumentos internacionales reconocen igualmente el derecho de vivienda, sus elementos y servicios como un derecho humano. El propio Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales ha reconocido la necesidad de interpretar este derecho de manera amplia en el sentido de ejercer el derecho a vivir en seguridad, paz y dignidad en alguna parte. Los servicios públicos como la electricidad son elementos que permiten valorar la realización de este derecho. Así, se entiende que el derecho a una vivienda adecuada incluye contar con acceso a servicios adecuados, contar con acceso sostenible y no discriminatorio a servicios públicos como salud, seguridad, comodidad, alimentación y agua. En el caso de la energía, ésta debe ser accesible para la cocción, calefacción y alumbrado, lo cual se relaciona con la habitabilidad de la vivienda (Heredia 2018, 39). En nuestro país, el derecho a la vivienda adecuada está plenamente reconocido en nuestra norma fundamental.

El Artículo 4º de la Constitución dispone que: “Toda familia tiene derecho a disfrutar de vivienda digna y decorosa”. Para ello, el texto constitucional determina que la ley establecerá los instrumentos y apoyos necesarios a fin de alcanzar tal objetivo. Por su parte, el Artículo 2º de la Ley de Vivienda dispone que:

[s]e considera vivienda digna y decorosa la que cumpla con las disposiciones jurídicas aplicables en materia de asentamientos humanos y construcción, salubridad, cuente con espacios habitables y auxiliares, así como los servicios básicos y brinde a sus ocupantes seguridad jurídica en cuanto a su propiedad o legítima posesión y contemple criterios para la prevención de desastres y la protección física de sus ocupantes ante los elementos naturales potencialmente agresivos.

### **Derecho a un medio ambiente sano**

Un medio ambiente sano es una premisa fundamental para que la especie humana pueda sobrevivir con dignidad (Inglés 2016). Esta afirmación se deriva de la Declaración de Estocolmo resultante de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano de 1972, la cual en su principio I establece el derecho fundamental de toda persona a “el disfrute de condiciones de vida adecuada en un medio ambiente de calidad tal que le permita llevar una vida digna y gozar de bienestar, y tiene la solemne obligación de proteger y mejorar el medio ambiente para las generaciones presentes y futuras”. Más adelante, en 1983, como resultado del informe para la Comisión para el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocido como el Informe Brundtland, se acuña el concepto *desarrollo sostenible* como un modelo de crecimiento que satisface las necesidades de la presente generación, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Dicho informe es antecedente de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, en donde se adopta la Declaración de Río y la Agenda 21 como un plan de alcance mundial para incorporar el concepto de desarrollo sostenible, la protección y conservación del ambiente y de los recursos naturales. La Agenda 21 reconoce que la energía es esencial para el desarrollo económico y social, y para mejorar la calidad de vida. De igual manera, destaca que la mayor parte de la energía es producida y consumida de formas que no pueden ser sostenibles y que para controlar las

emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI) es necesario atender a la eficiencia en la producción, transmisión, distribución y consumo de energía y en sistemas de energía ambientalmente apropiados, en particular en aquellos que empleen energías nuevas y renovables.

La Declaración de Johannesburgo, derivada de la Cumbre realizada en esa ciudad sudafricana diez años después de Río, reconoce que es necesario contribuir a crear en el sector de la energía las condiciones económicas, sociales e institucionales necesarias para mejorar el acceso a servicios energéticos fiables, de costo razonable, económicamente viables, socialmente aceptables y ecológicamente racionales en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza en las zonas rurales, periurbanas y urbanas.

Otros instrumentos internacionales vinculantes para nuestro país reconocen de manera directa e indirecta el derecho a un medio ambiente sano para el bienestar. La Convención Americana sobre Derechos Humanos y su protocolo adicional en materia de derechos humanos lo reconocen. Además, este último reconoce en su Artículo 11 el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano y a contar con servicios públicos básicos, así como también la obligación de los Estados parte para promover la protección, preservación y mejoramiento del medio ambiente. Asimismo, la Corte Interamericana de Derechos Humanos emitió en noviembre de 2017 su opinión consultiva OC-23/17 en la cual aborda las obligaciones de los Estados parte en relación con el medio ambiente en el marco de la protección y garantía de los derechos humanos de protección a la vida y a la integridad personal. La Corte Interamericana reconoce también una dimensión colectiva y una individual del derecho humano al medio ambiente. En la primera se destaca el interés universal de protección y cuidado del ambiente y los recursos frente a las generaciones futuras; en la segunda, se revisa la medida en la cual la falta de protección y cuidado aludidos pueden vulnerar otras esferas como la integridad personal, el derecho a la vida o el derecho a la salud de las

personas. También señala que pueden dañar la integridad de los elementos del ambiente como los bosques, ríos, mares y la atmósfera, así como intereses jurídicos integrales en sí mismos, aun en ausencia de la certeza o evidencia de la afectación a la salud o integridad de personas determinadas, sino por la conectividad con otros organismos que también merecen protección.

Otros tratados y acuerdos internacionales vinculantes para nuestro país en este aspecto son el Acuerdo de Cooperación de América del Norte (1994), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1994), el Protocolo de Kioto (2004), el Convenio de Minamata sobre el Mercurio (2017), el Acuerdo de París (2016), y el Acuerdo sobre un Programa Internacional de Energía (2018) derivado de la incorporación de México a la Agencia Internacional de Energía.

Por su parte, la Constitución (2018) reconoce en su Artículo 4º que “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 en términos de lo dispuesto por la ley”. El ambiente es, conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA 2018) mexicana, “el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre –es decir, las personas– que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados”. Así, el concepto de *ambiente* comprende los elementos naturales y los artificiales, e incluso los inducidos por los humanos.

La definición incluye elementos como la temporalidad y el carácter territorial, mismos que son necesarios para caracterizar la vida y protegerla en un lugar determinado, en términos ecológicos, en un ecosistema determinado o determinable. De lo anterior se sigue que los ecosistemas se encuentran sujetos a regulación y que de su equilibrio dependen la vida y las posibilidades productivas del país. Entonces, reconocer el derecho

a un medio ambiente sano significa también reconocer el bien jurídicamente tutelado de la conservación de los ecosistemas y los elementos naturales que los componen.

Así, el aprovechamiento de los elementos que componen los ecosistemas necesita asegurar una productividad óptima y sostenida, compatible con su equilibrio y sin poner en peligro su integridad en perjuicio de las generaciones presentes y futuras. Conforme a lo anterior, es menester atender el contenido del Artículo 27 de la Constitución (2018) que establece la facultad en favor de la nación para imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, y la facultad del Estado para “regular en beneficio social el aprovechamiento de los recursos naturales, para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población”.

Más adelante, el Artículo 27 constitucional incluye una prohibición al otorgamiento de concesiones para la planeación y control del sistema eléctrico nacional. Dicha prohibición también comprende el otorgamiento de concesiones para la prestación del servicio público de transmisión o para la distribución de energía eléctrica en su modalidad de servicio público, actividades que quedan reservadas al Estado. Lo anterior se expresa en el párrafo sexto del Artículo 27 en comentario:

“Corresponde exclusivamente a la Nación la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; en estas actividades no se otorgarán concesiones, sin perjuicio de que el Estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que establezcan las leyes, mismas que determinarán la forma en que los particulares podrán participar en las demás actividades de la industria eléctrica” (Constitución... 2018).

El texto constitucional autoriza al Estado para contratar con particulares en los términos que establezcan las leyes. Así, se abre un espacio de oportunidad para la participación privada y social. No se abunda ahí respecto de las modalidades, la formalidad o bien la naturaleza de los referidos contratos ni se distingue entre formas tradicionales o formas alternativas de generación de energía eléctrica con el uso de los recursos naturales que sí regula, con lo que se deja a la voluntad del legislador articular las normas que permitan hacer efectivo este derecho. Pese a ello, es necesario considerar que la participación que se autoriza por medio de esta disposición debe ocurrir en el ámbito que la propia Constitución establece para proteger los derechos humanos fundamentales y, en este tenor, debe garantizarse su realización efectiva.

### **Derecho al desarrollo**

El 4 de diciembre de 1986 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó, en su resolución 41/128, la Declaración sobre el Derecho al Desarrollo. En ella reconoce que éste es un derecho humano inalienable en virtud del cual todo ser humano y todos los pueblos están facultados para participar en un desarrollo económico, social, cultural y político en el que puedan realizarse a plenitud todos los derechos humanos y libertades fundamentales, así como a contribuir a ese desarrollo y a disfrutar de él. Más adelante, en el año 2000, se adoptó la Declaración del Milenio de la Organización de las Naciones Unidas, en donde la comunidad internacional se compromete a reducir la pobreza, mejorar la salud y promover la paz, los derechos humanos, la equidad de género y la sustentabilidad ambiental. Con el fin de revisar la forma como los Estados adoptaron medidas para el derecho al desarrollo se creó en 2010 un grupo especial de alto nivel, el cual generó un informe sobre definiciones, atributos, criterios e indicadores para hacer efectivo el derecho al desarrollo. En el caso de la energía eléctrica se identificaron los atributos siguientes: 1) política de desarrollo global centrada en el ser humano; 2)

procesos de participación en materia de derechos humanos, y 3) justicia social en el desarrollo.

En septiembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la resolución A/RES/70/1 que incluye un conjunto de 17 objetivos, conocidos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con 169 metas para alcanzar el desarrollo sostenible en todas sus formas, garantizar el pleno ejercicio de los derechos humanos, erradicar la pobreza, garantizar la paz y erradicar las desigualdades y la discriminación. El catálogo de Objetivos de Desarrollo Sostenible incluye uno, el objetivo 7, dirigido al acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. En este contexto, los Estados se comprometen a garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos; aumentar sustancialmente el porcentaje de energía renovable en el conjunto de fuentes de energía; duplicar la tasa mundial de mejora de eficiencia energética; aumentar la cooperación internacional a fin de facilitar el acceso a la investigación y las tecnologías energéticas no contaminantes, incluidas las fuentes de energía renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructuras energéticas y tecnologías de energía no contaminante, y a ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios de energía modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular, los menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

En el caso del objetivo 11, dirigido a lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, se propone como meta asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles, así como mejorar los barrios marginales. Desde luego, en los servicios aludidos en dicha meta se incluye el de la energía eléctrica. Por otra parte, en el contexto del objetivo 13, se

establece la aspiración de incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

En nuestra Constitución, el Derecho al Desarrollo se enmarca en el texto del Artículo 25 el cual establece la rectoría del Estado para que el desarrollo sea integral y sustentable, y para que las actividades económicas en el país se sujeten a las modalidades que dicte el interés público, cuidando la conservación de los recursos productivos y el medio ambiente. De tal manera, en la instrumentación del desarrollo se deben conjuntar componentes económicos, sociales y ambientales para fortalecer la soberanía de la nación mexicana.

Así, es claro que el derecho al desarrollo permite integrar, en un mismo enfoque de atención, la satisfacción de necesidades sociales entre las cuales se encuentra la de la energía eléctrica como un insumo que permite y facilita el desarrollo de la vida como la conocemos hoy. En el caso de la energía eléctrica, la sustentabilidad debe considerar las diferentes instancias que comprenden su ciclo de vida,<sup>1</sup> es decir, su generación, transporte, distribución y, finalmente, su empleo por los usuarios finales. En este enfoque, el acceso a la energía eléctrica tiene como fin mejorar la vida de las comunidades y de las personas sin comprometer las necesidades, por lo cual resulta fundamental atender la sustentabilidad energética como el núcleo de la interrelación entre el derecho al desarrollo y el acceso a la energía eléctrica sustentable.

### **Artículo 17 transitorio de la reforma energética**

El Artículo 17 transitorio del decreto de reforma en materia de energía de 2013 establece la obligación al Congreso de la Unión

1 El análisis del ciclo de vida es una técnica que permite identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos o servicios, aporta información para llevar a cabo una planeación estratégica, prioridades, diseño y rediseño de procesos, permite seleccionar indicadores pertinentes, incluyendo su medición, y hace posible comunicar las ventajas o beneficios de su empleo en términos ambientales. Ver Norma ISO 14040, Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida –principios y marco de referencia.

para que, en 365 días naturales posteriores a su entrada en vigor, ajuste el marco jurídico para establecer las bases en las que el Estado procurará la protección y cuidado del medio ambiente en todos los procesos relacionados con el decreto en los que intervengan empresas productivas del Estado, los particulares o ambos, mediante la incorporación de criterios y mejores prácticas en los temas de eficiencia en el uso de energía, disminución en la generación de gases y compuestos de efecto invernadero, eficiencia en el uso de recursos naturales, baja generación de residuos y emisiones, una menor huella de carbono en todos sus procesos, así como obligaciones en materia de energías limpias. El sentido y contenido de este Artículo contiene no sólo una obligación expresa al legislador, sino que de las implicaciones normativas de dichos enunciados se desprende un derecho fundamental y humano que se traduce en el derecho de las personas para que se incorporen los elementos descritos como requisito de ley, guardando la debida congruencia y consonancia con los derechos humanos y fundamentales correlacionados y revisados en este Artículo.

Es bien sabido que las centrales tradicionales de generación de energía eléctrica que requieren combustibles fósiles para su operación generan emisiones de CO<sub>2</sub> y de contaminantes (como partículas, óxidos de nitrógeno, mercurio, en el caso de las carboeléctricas y otros, dependiendo los procesos que empleen). Dichas instalaciones industriales generan residuos e impactos ambientales que deben ser mitigados y controlados para evitar daños a la población y a la salud de los ecosistemas. En las actuales circunstancias en donde se ha manifestado la intención del Gobierno de la República para construir nuevas carboeléctricas, será imprescindible conocer de qué forma se atenuarán los impactos al ambiente, conforme a los procedimientos previstos para el impacto ambiental conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y otros ordenamientos en materia ambiental respecto de emisiones, residuos, descargas de agua, forestal y uso de suelo, entre otros. Además, se deberá saber

cuáles serán los ajustes necesarios en el sistema de generación de energía eléctrica para cumplir las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional que nuestro país comprometió frente a la comunidad internacional para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que en la actualidad, conforme al Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INECC 2019), la generación de energía eléctrica es la segunda actividad en importancia (18%) después del autotransporte (23.4%) en la generación de GEI.

### **La exigibilidad y la justiciabilidad del derecho humano a la energía eléctrica sustentable**

La exigibilidad de un derecho se centra en poder obtener su cumplimiento mediante la instrumentación de un proceso de índole judicial, es decir, es la capacidad de obtener una sentencia favorable de un juez competente para conocer de un caso determinado.

La *justiciabilidad* de un derecho humano, por otro lado, es un concepto más amplio que se refiere al reconocimiento del propio derecho, las instancias que tienen alguna responsabilidad para su cumplimiento y a dar seguimiento y monitoreo al estado que guarda la implementación específica del derecho humano a que nos referimos. En este caso, se deben considerar los diferentes instantes del ciclo de la política pública, desde su diseño, a partir de una fuente normativa, nacional o internacional; los procesos para su puesta en marcha; así como su ejecución, monitoreo y seguimiento en la implementación y la valoración de resultados que se obtengan frente a los objetivos de dichas políticas. La evaluación de políticas y programas es un elemento adicional que permite apreciar el desarrollo y disminución de carencias sociales vinculadas con los derechos humanos. La Constitución establece el régimen garantista pro persona de los derechos humanos en sus Artículos 1° y 133; los límites a la suspensión de las garantías en su Artículo 29; la protección del debido proceso y derechos humanos en los Artículos 14, 16, 41,

49; la distribución de competencias conforme a los Artículos 73 (facultades del Congreso) y 89 respecto a las facultades del Ejecutivo Federal; el régimen de protección de los derechos humanos y persecución penal de los delitos en su Artículo 102; las facultades de municipios y ayuntamientos en su Artículo 115; las facultades de las entidades federativas en sus Artículos 116 y 124, y procedimientos para protección de garantías y juicio de amparo en sus Artículos 103 y 107. De tal manera, se da cuenta de las diferentes responsabilidades del Estado Mexicano en el ámbito administrativo, en el legislativo y judicial, así como en procedimientos *ad hoc* para la tutela de los derechos humanos a través de los organismos autónomos como la Comisión Nacional de los Derechos Humanos para promover, facilitar, impulsar, proveer, no omitir, desarrollar, vigilar, cumplir, sancionar y restituir por su incumplimiento y, en su caso, evaluar el cumplimiento debido.

Como derechos públicos subjetivos, la Constitución reconoce el derecho de toda familia a una vivienda que debe revestir las características de dignidad y de decoro. Conforme a la ley se encuentra el servicio de energía eléctrica, por lo cual el acceso a contar con éste es un derecho fundamental que debe garantizarse para la vivienda de toda persona. Por otra parte, el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar debe entenderse no sólo como una declaración amplia sin carácter normativo, sino que este concepto se perfecciona bajo el enfoque de sustentabilidad, conforme al Artículo 3, Fracción XI, de la LGEEPA, y se traduce en el establecimiento de un conjunto de elementos identificables, cuantificables y medibles, que permita integrar variables económicas sociales y ambientales en servicios públicos, como es el caso de la energía eléctrica.

En efecto, en la prestación del servicio público de energía eléctrica, el Estado debe incorporar la protección y el cuidado del medio ambiente en todos los procesos relacionados en los que intervengan las empresas productivas del Estado, los particulares o ambos. Lo anterior, mediante la incorporación de criterios y

mejores prácticas en uso de energía, disminución en la generación de gases y compuestos de efecto invernadero, uso de recursos naturales, baja generación de residuos y emisiones, así como la menor huella de carbono y el establecimiento de obligaciones respecto de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes. Es menester aclarar que el hecho de que la Constitución disponga el derecho a la vivienda digna y decorosa, el derecho al medio ambiente sano, el derecho al aprovechamiento sustentable y racional de los recursos naturales, al igual que las disposiciones para participar en la industria eléctrica y sus modalidades conforme al Artículo 17 transitorio del decreto de reforma de 2013, implica que las personas en nuestro país tienen el derecho de acceder a un servicio público en cuya prestación se cumplan las disposiciones constitucionales vigentes, constituyendo así mandatos para la autoridad para ajustar su acción a dichas prescripciones.

El Estado debe vigilar que los actos que vulneran los derechos fundamentales y humanos no se continúen en el tiempo, establecer mecanismos apropiados para las posibles reparaciones de daños o afectaciones, impedir que actos violatorios de derechos se repitan o continúen y no obstruir procedimientos dirigidos a atender la violación de derechos, así como informar de manera doméstica e internacional de aquellos obstáculos que puedan atentar contra la efectividad de la acción estatal de protección y garantía de los referidos derechos.

## **Conclusiones**

El derecho humano fundamental de acceso a la energía eléctrica sustentable es el resultado de un análisis sistemático, coherente y congruente de las disposiciones constitucionales que garantizan el derecho a la vida y vivienda dignas, el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de las personas, el derecho al desarrollo integral y sustentable, al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y a las disposiciones derivadas del Artículo 17 transitorio de la reforma constitucional en

materia de energía de 2013. El caso mexicano es útil para destacar este doble carácter que no se reconoce de manera uniforme en el planeta, aunque exista una base normativa internacional para ello.

Con base en este orden normativo que establece la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, todas las autoridades del Estado tienen obligaciones para promover, garantizar, respetar, facilitar, desarrollar, vigilar, cumplir, sancionar, reparar y evaluar en la esfera de sus competencias el cumplimiento de este derecho. En este sentido, con el advenimiento de la Agenda y los objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030 y otros instrumentos como la Contribución Nacionalmente Determinada, se conjuntan elementos que precisan la incorporación de este enfoque de atención basado en el beneficio social y en la atención de necesidades básicas de la población. Este enfoque involucra y desarrolla los tres ámbitos de la sustentabilidad: el aspecto ambiental, económico y social, en beneficio de la nación.

Al inicio de la administración 2018-2024, será imprescindible considerar este enfoque en el proceso de Planeación Democrática del Desarrollo para incorporar una visión de largo plazo y el cumplimiento de los compromisos que el Estado Mexicano ha hecho ante la comunidad internacional, sobre todo para cumplir de manera irrestricta con las obligaciones del Estado en beneficio de las presentes y de las futuras generaciones. Este artículo buscó resaltar las obligaciones de los diferentes actores del Estado, de frente al derecho humano y fundamental de acceso a la energía eléctrica sustentable.

## Referencias

2009. "NC-ISO 14040: 2009. Gestión ambiental –Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia". <https://www.iso.org/obp/ui#!iso:std:iso:14040:ed2:v1:es.htm>.
2018. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México, 5 de febrero de 1917, última reforma 27 de agosto 2018.

2018. “Ley General de Cambio Climático”. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México, 7 de julio.
2018. “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México, 5 de junio.
- BERNAL PULIDO, C. 2015. “Derechos Fundamentales”. En *Enciclopedia de Filosofía y Teoría del Derecho*, vol. 2, coordinado por J. L. Fabra Zamora y V. Rodríguez Blanco, 1571. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM.
- CÁMARA DE DIPUTADOS. 2010. *Gaceta Parlamentaria* 3162-IV, año XIV, 15 de diciembre.
- COMISIÓN DE ENERGÍA DEL ESTADO DE CALIFORNIA. 2017. *Acta Warren-Alquist para la Conservación y Desarrollo de la Energía* [Warren-Alquist State Energy Resources Conservation Act], enero. California, Estados Unidos de América.
- CONSEJO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA POLÍTICA DE DESARROLLO SOCIAL. 2018. *Informe de Evaluación de la Política de Desarrollo Social*. Ciudad de México: Coneval.
- COSSÍO DÍAZ, J. R. y R. Lara Chagoyán. 2015. “¿Derechos humanos o jurisprudencia infalible?”. *Cuestiones Constitucionales*, n.º 32: 81-109. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pi-d=S1405-91932015000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pi-d=S1405-91932015000100003&script=sci_arttext).
- DE LA GARZA TOLEDO, E. *et al.* 1994. *Historia de la industria eléctrica en México*. Colección Ciencias Sociales y Humanidades. Distrito Federal: Universidad Autónoma Metropolitana.
- FERRAJOLI, L. 2006. “Sobre los derechos fundamentales”. *Cuestiones Constitucionales, Revista Mexicana de Derecho Constitucional*, n.º 15: 113-136.
- HAUSSMAN, W. y J. Neufeld. 1997. “The rise and fall of the American & Foreign Power Company: A lesson from the past?”. *The Electricity Journal* 10, n.º 1: 46-53.
- HEREDIA FRAGOSO, M. A. 2018. “El Derecho Fundamental a la energía eléctrica sustentable”. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

- HUERTA OCHOA, C. 2010. “Sobre la distinción entre derechos fundamentales y derechos humanos”. *Derechos Humanos México* 5, n.º 14: 69-86.
- INGLÉS HERNÁNDEZ, M. 2015. “Derecho a un medio ambiente sano en México: de la constitucionalización a la convencionalidad”. En *Historia y Constitución. Homenaje a José Luis Soberanes Fernández. Tomo I*, editado por M. Carbonell Sánchez y O. Cruz Barney, 35-58. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
- \_\_\_\_\_. 2016. “La concreción del derecho a un medio ambiente sano en México”. En *100 años de la Constitución mexicana, de las garantías individuales a los derechos humanos*, editado por L. R. Guerrero Galván y C. M. Pelayo Muñoz, 213-241. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC). 2019. “Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático”. [www.gob.mx/inecc](http://www.gob.mx/inecc).
- LARREA, S. 2015. “Organización Latinoamericana de Energía (OLA-DE). Estadísticas de género para energía”. Ponencia preparada para el XVI Encuentro Internacional de Estadísticas de Género: Desafíos Estadísticos hacia la implementación de la agenda de desarrollo post 2015.
- MANJARREZ, J. y S. Flores. 2014. “La promoción de la política pública sustentable en México: Del diseño metodológico a la evaluación y desempeño del presupuesto basado en resultados”. En *Ciencias Administrativas y Sociales*, editado por M. Ramos y V. Aguilera, 146-157. Guanajuato: Ecorfan.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). 1948. *Declaración Universal de los Derechos del Hombre*. París, Francia, 10 de diciembre de 1948.

- \_\_\_\_\_. 2010. “Informe del grupo de trabajo de alto nivel para la implementación del derecho al desarrollo y su anexo sobre los atributos, criterios e indicadores del desarrollo, décima quinta sesión del Consejo de Derechos Humanos”. Ginebra, Suiza: ONU.
- \_\_\_\_\_. 2015. *Resolución A/RES/70/1*. Ginebra, Suiza: ONU.
- PALLARES YABUR, P. 2006. “La protección y justiciabilidad de los derechos económicos, sociales y culturales. Un camino posible en México”. *Revista del Centro Nacional de Derechos Humanos* 1, n.º3.
- RODRÍGUEZ, Gabriela *et al.* 2013. “Interpretación conforme”. En *Metodología para la enseñanza de la reforma constitucional en materia de derechos humanos*, 65. Distrito Federal: Suprema Corte de Justicia de la Nación/Alto Comisionado de los Derechos Humanos/Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal.
- RODRÍGUEZ MANZO, G. *et al.* 2013. “Bloque de constitucionalidad en México”. En *Metodología para la enseñanza de la reforma constitucional en materia de derechos humanos*, 68. Distrito Federal: Suprema Corte de Justicia de la Nación/Alto Comisionado de los Derechos Humanos/Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal.



## 10. Derechos humanos y cambio climático

Simone Lucatello  
y María Eugenia Mesta Espinosa

### Introducción

Como el resto del mundo, México cuenta con el bagaje académico para profundizar en el combate al cambio climático. El estudio del clima es un campo de investigación complejo y en rápida evolución que mezcla actualmente diferentes visiones y disciplinas científicas debido a la gran cantidad de factores que intervienen en su devenir. Una de las más recientes y controversiales es el tema de la ingeniería climática o geoingeniería, la cual significa la intervención del ser humano a gran escala por medio de instrumentos o acciones de adaptación basados en alta tecnología para modificar los sistemas planetarios frente a los efectos del cambio climático. Tales intervenciones van desde la posible colocación de espejos en el espacio que reflejen la luz solar y refresquen la atmósfera, secuestro y aspiración de carbono y CO<sub>2</sub> desde la atmósfera para enterrarlo en el planeta, a procesos de fumigación de nubes para la alteración de su composición química natural para el enfriamiento del clima, además de otras variedades de intervenciones artificiales.

Como sabemos, el clima nació con la Tierra y nunca se ha mantenido igual; siempre ha sido sujeto a alteraciones y variacio-

nes debidas a procesos biofísicos y energéticos naturales que van desde decenios hasta miles y millones de años. En tal sentido se define al cambio climático como la “variación global del clima de la Tierra” (CMNUCC 1992). Sin embargo, desde hace poco más de un siglo, y en particular con la llamada revolución industrial surgida en Inglaterra a finales de 1800, varios estudiosos empezaron a notar que las emisiones de gases contaminantes en la atmósfera y provenientes de los procesos de desarrollo económico e industrial empezaban a tener efectos de acumulación peligrosa en la misma atmósfera con consecuencias e impactos directos en el calentamiento global del planeta y de su temperatura promedio. En la actualidad existe un consenso científico generalizado según el cual nuestro modo de producción y consumo energético –en otras palabras, nuestro modelo de desarrollo– está generando una alteración climática global, que provocará en diferentes escalas y escenarios graves impactos sobre el planeta Tierra, sus ecosistemas y sobre las poblaciones animales y humanas de la Tierra (IPCC 2014).

Cabe aquí mencionar, por razones de diferencias terminológicas, que existe también la importante definición del concepto *efecto invernadero*, que se refiere a la retención del calor del Sol (por lo tanto, natural) en la atmósfera de la Tierra por parte de una capa de gases en la misma. Éste es un proceso natural sin el cual el planeta no podría mantener su actual clima ya que, de lo contrario, sería demasiado frío. Con el efecto invernadero, los varios gases naturales en la atmósfera se combinan entre sí para dar acción a procesos de química atmosférica de diferente tipo.

Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que son liberados principalmente por la industria, la agricultura y la combustión de combustibles fósiles como el petróleo (CMNUCC 2005). Por lo anterior, el presente capítulo tiene como objetivo realizar un ensayo del cambio climático y su relación con los derechos humanos. Para el efecto se empleó el método de análisis del discurso.

## **El problema de la geoingeniería: las bases científicas y sociales y su relación con los derechos humanos**

Los procesos de desarrollo económico y crecimiento del último siglo y medio, basados en la explotación de los recursos naturales, han provocado que la concentración de tales gases haya aumentado más de 30% desde el siglo pasado, sin dar posibilidad al planeta de equilibrar las emisiones y recuperar sus procesos biofísicos naturales (CMNUCC 2008). A este tipo de cambio climático, los expertos le pusieron el nombre de “antropogénico”, es decir un cambio de clima causado por la interferencia humana. Para terminar con esta breve explicación del fenómeno, cabe mencionar que el cambio climático es debido entonces tanto a causas naturales como a la acción del hombre, además de que sus impactos se producen a muy diversas escalas de tiempo y en parámetros climáticos como son la temperatura, las precipitaciones, nubosidad, la humedad y muchos otros (CMNUCC 2008).

Ante las alarmantes y peligrosas evidencias de que las actividades humanas han modificado el clima de la Tierra, ha surgido una serie de propuestas para frenar el calentamiento global y su principal causa que es la acumulación de gases de efecto invernadero, en particular el CO<sub>2</sub>. Como se mencionó al inicio, las propuestas que buscan (ya no a través de los esfuerzos de mitigación y de reducción de las emisiones) frenar los impactos del CC se denominan *geoingeniería* o *ingeniería climática*. Tal “disciplina” trata de generar técnicas de intervención a escalas lo suficientemente grandes como para modificar (de manera favorable) el sistema climático del planeta. Según Saldívar, Lluch y Castro (2017), las técnicas de ingeniería climática se dividen en dos grandes grupos:

1. Técnicas de remoción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que incluyen la fertilización (30% de la superficie del océano mediante la dispersión de polvo de hierro en zonas de baja productividad); instalación masiva de estructuras para la captura de aire y la remoción de CO<sub>2</sub> para luego transferirlo a algún

- reservorio de largo plazo, oceánico o geológico. Quema de biomasa en condiciones de bajo oxígeno (pirolisis) para formar productos sólidos similares al carbón. Posteriormente se entierra y puede actuar como un reservorio de carbono;
2. Técnicas denominadas de gestión de la radiación solar e implican, entre otras vertientes:
    - a) Incremento de la capacidad reflectora de las nubes sobre el mar mediante la dispersión de partículas que actúan como núcleos de condensación de nubes;
    - b) Inyección de aerosoles en la estratosfera baja para formar partículas que dispersan la radiación solar;
    - c) Reemplazo de pastizales y matorrales por plantas seleccionadas por la alta capacidad de su superficie para reflejar la luz solar (Saldívar, Lluch y Castro 2017, i-2).

Muchos experimentos de enfriamiento del planeta se están llevando a cabo en diferentes partes del globo y se están planteando proyectos tan ambiciosos como extravagantes, pero al mismo tiempo aterradores por la falta de conocimiento sobre sus efectos secundarios. Entre las propuestas más extravagantes se encuentra la idea de enverdecer al desierto del Sahara por medio de instalación de turbinas eólicas y paneles solares (Raynova *et al.* 2016), así como crear una nube de ácido sulfúrico en la atmósfera superior (como lo hacen las grandes erupciones volcánicas), de tal manera que la nube, formada después de que los aviones pulvericen dióxido de azufre, reflejaría la radiación solar y enfriaría el planeta. Según el modelo propuesto por investigadores europeos (Europa Press 2018), los aviones rociarían cinco millones de toneladas de dióxido de azufre por año en la atmósfera superior para reproducir anualmente alrededor de un cuarto del dióxido de azufre expulsado durante la erupción del Monte Pinatubo, en Filipinas, en 1991, una de las más grandes de la historia. La fumigación conduciría a una distribución uniforme de las nubes de ácido sulfúrico en los hemisferios norte y sur, y eso reduciría la tem-

peratura un grado (Europa Press 2018). Sin embargo, según los mismos científicos, estos cambios inducidos nuevamente por el hombre no contemplan las consecuencias que podrían causar en el clima mismo del planeta, pero admiten que tal solución podría causar un rápido calentamiento del fenómeno de El Niño en la superficie del mar y en el Océano Pacífico tropical, que causaría una devastadora sequía en el Amazonas.

Además de estas manipulaciones del clima por parte de científicos avalados sobre todo por grandes empresas y fundaciones internacionales, como la de Bill Gates, hay que sumar una reciente tendencia de las empresas agrobiotecnológicas, de combustibles agroindustriales y de biología sintética que desarrollan una carrera para la producción de “cultivos climáticos” capaces de secuestrar dióxido de carbono, reflejar rayos solares o soportar presiones ambientales atribuibles al cambio climático, como calor extremo, sequía, radiación UV y salinidad, entre otros. De hecho, las más grandes empresas químicas del mundo (BASF, Monsanto, DuPont, Dow, Bayer y Syngenta) están desarrollando organismos genéticamente modificados (OGM), es decir “cultivos OGM climáticos”.

En 2013, Monsanto compró Climate Corp. por 930 millones de dólares. Se trata de una empresa líder en acumulación histórica de datos de cosechas ligadas a los eventos meteorológicos, y que se dedicaba a los seguros meteorológicos agrarios en Estados Unidos. Como advierte el Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración (ETC), que se produzcan industrialmente cultivos “listos para el cambio climático”, controlados por un pequeño número de empresas transnacionales apoderadas de la cadena industrial de alimentos, tendrá consecuencias muy serias tanto para el cambio climático como para la seguridad alimentaria (Ecologistas en acción 2015).

## **El caso de Puebla y los movimientos ciudadanos en contra de la geoingeniería**

En México, el tema de la investigación sobre la geoingeniería climática y sus efectos en las personas o en las comunidades es todavía incipiente y la información que se encuentra al respecto es escasa. Sin embargo, existen diferentes fuentes que documentan la existencia de algunos casos ligados a interferencias humanas en el clima en el país, para modificarlo con diferentes fines. El caso más sonado es el de los llamados cañones antigranizos, utilizados por la empresa alemana automotriz Volkswagen México, en Puebla, que ha llegado a detonar un conflicto entre las comunidades que se ubican en los alrededores de la planta de producción de vehículos y la misma empresa.

Los equipos antigranizos son cañones que producen explosiones a base de sustancias químicas como el acetileno, para romper los granizos antes de que estos caigan al suelo. La empresa Volkswagen emplea los cañones durante la temporada de lluvias en México (de mayo a noviembre) para reducir los impactos del granizo sobre los vehículos recién producidos que están estacionados al aire libre en la planta. Al disparar, los cañones tienen un efecto de “ahuyentar” las lluvias dado que también disipan las nubes que se forman, evitando que la lluvia se produzca. Según la descripción técnica, los aparatos emiten ondas de presión a la atmósfera con un radio de influencia de 500 metros a la redonda, generando un impacto físico al granizo. Según datos económicos de la misma empresa alemana, sólo en 2017 la pérdida por daños de granizo a los autos estacionados en la planta fue de 20 millones de dólares (381.6 millones de pesos, aproximadamente) y por eso se decidió implementar los equipos antigranizo (El Sol de Puebla 2018).

Por otro lado, estos cañones pueden destruir el granizo, pero sólo cuando se está formando, o bien reducen su tamaño para evitar que afecten los cultivos. Sin embargo, si es empleado con desconocimiento y basado en evaluaciones visuales, en vez de

destruir el granizo puede dispersar la nube y evitar que la lluvia que estaba por caer se reduzca en volumen (Patiño 2018).

Ahora, varias preguntas surgen alrededor de esta técnica de ingeniería climática y su impacto: ¿por qué se generó el conflicto con las comunidades campesinas de la zona?, ¿cómo ha intervenido el gobierno?, y finalmente, ¿el uso de estos cañones está permitido en México y qué impactos tienen sobre la salud de las comunidades afectadas?

Los habitantes de los municipios poblanos de Cuautlancingo, Coronango –zona metropolitana en donde opera la planta–, y de algunas localidades de la capital del estado, fueron los primeros en detectar el empleo de estos artefactos y llegaron a bloquear el acceso de algunas puertas de la fábrica y un tramo de la autopista México-Puebla (esto ocurrió en junio de 2017). Los campesinos, alegaron que sus cultivos de maíz, frijol y habas se veían afectados por los cañonazos, pidiendo el cese de la práctica y la intervención del Gobierno Local y Federal. Según fuentes locales, hubo 2 mil hectáreas de siembra perdidas, atribuidas a los cañonazos, por lo que las comunidades exigieron una indemnización por 70 millones de pesos. Los propios directivos de la empresa admitieron en entrevistas con prensa local que detonan estos equipos cada siete segundos cuando se forma una nube.

Los cañones empezaron a operar luego de que la Secretaría de Desarrollo Rural, Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial (SDRSOT) del estado de Puebla autorizó el uso de tres dispositivos, sin un previo estudio de impacto ambiental, durante dos horas al año. Sin embargo, ni la Comisión Nacional del Agua (Conagua), ni otras dependencias federales que trabajan sobre el tema del agua o de medio ambiente, fueron consultadas para la utilización de estas herramientas (Cruz 2018). En otras partes de México, como Jalisco, Colima, Aguascalientes y Michoacán, los gobiernos locales ordenaron la suspensión de cañones anti-granizo debido a que su uso también generó inconformidades

entre algunos sectores de la sociedad, particularmente con los agricultores (El Sol de Puebla 2018).

El principal problema de la utilización de estas técnicas de adaptación climática basada en tecnología es que tienen efectos en el retraso de las lluvias y otras alteraciones a los ciclos biofísicos y químicos naturales del clima, sin contar con daños a la salud de las comunidades afectadas. Sin embargo, debido a la secrecía sobre su uso y la poca investigación presente en México, se requiere un estudio mucho más exhaustivo sobre el tema para determinar su impacto y afectaciones.

El continuo deterioro climático ha llevado a una interacción para analizar nuevos elementos analíticos del impacto de cambio climático en nuestra vida cotidiana, en particular su efecto sobre los derechos fundamentales del ser humano (los derechos humanos). En la actualidad se considera que el mayor riesgo a los derechos humanos es el cambio climático (CC) (Robinson 2015). Bajo este contexto, el vínculo entre ambos se confirma a diario, y se pone énfasis en la acción del Estado como promotor, garante y protector de los derechos fundamentales. Además, esta obligación incluye prevenir posibles daños, incluso los derivados del CC. Esta obligación requiere tanto una acción individual del Estado nacional como la cooperación internacional con el fin de lograr cumplir con estos objetivos.<sup>1</sup>

De la acción o su falta por parte del gobierno, se determina en gran medida el cumplimiento o no de sus obligaciones como garante de la seguridad de sus ciudadanos y las implicaciones rebasan muchas veces los tiempos y efectos originalmente previstos al momento de la planeación o ejecución de estas medidas. En términos de CC, las acciones del Estado se han planteado como profundas y de largo alcance. Los derechos humanos son garantías legales universales que protegen a los individuos, gru-

1 Estos principios se derivan tanto de la Carta de las Naciones Unidas, la Declaración Internacional de los Derechos Humanos, del Pacto Internacional de Derechos Económicos Sociales y Culturales, así como de la Declaración sobre el Derecho al Desarrollo.

pos y personas contra acciones y omisiones que interfieran con derechos y libertades fundamentales. Con ellos se obliga sobre todo a los gobiernos y a otros obligados (tales como empresas) a respetar, promover, proteger y cumplir con estos derechos, ya que son universales y su filosofía inspiradora es la dignidad inherente y la igualdad de todos los seres humanos.

A partir de la Declaración de los Derechos del Hombre, la expansión del capitalismo y, por ende, el occidentalismo a los rincones más alejados del mundo, los derechos humanos ganan espacio en la retórica estatal. Día con día vemos en las posiciones internacionales y en ocasiones, en el deber ser, la colocación de estas potestades como ley suprema, ya que se firman nuevos documentos y se agregan principios a los tradicionalmente reconocidos, tales como los derechos sociales y políticos, con lo que se amplía el espectro de lo que se considera protegido como un derecho humano. Con el pasar de los años se han ido sumando derechos tales como el derecho al agua, a un ambiente sano, a una alimentación sana y suficiente, etcétera.<sup>2</sup> Si bien este cambio ha sido loable, la realidad es que a nivel mundial enfrentamos una violación sistemática de estos principios; en algunos casos abierta y clara, en otros, de manera más sutil.

Ahora bien, en el caso del CC, la acción del Estado es responsable, sobre todo por omisión, por no garantizar el acceso a estos derechos fundamentales, por no tomar acciones positivas suficientes como para prevenir y mitigar los efectos negativos del clima y, por ende, del CC. Además, en esos casos donde la acción estatal nacional esté presente, puede ser insuficiente por la interconectividad de los recursos nacionales, el ambiente, y sus efectos. Son, así pues, los Estados en su conjunto y no sólo en lo individual, los responsables de garantizar estos derechos, y quienes están obligados a tomar las medidas necesarias para mitigar efectos y consecuencias.

2 Declaración Universal de los Derechos Humanos, Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos, etcétera.

El CC tiene un impacto directo sobre los derechos de las personas en cuanto a su salud, agua, casa y alimentación. Éste se multiplica de forma exponencial cuando afecta a los grupos más vulnerables por su nivel económico, social, a las minorías, grupos indígenas, adultos mayores, menores de edad, y refuerza aún más esta situación de vulnerabilidad, con lo que se crea un efecto discriminatorio *de facto*. Dada la interconectividad de la naturaleza, Estados con una posición proactiva y responsable, en muchas ocasiones sufren las consecuencias tanto o más que estados renuentes a asumir obligaciones a este respecto. El CC representa un riesgo a los derechos humanos, pues desconoce fronteras y sus consecuencias impactan más allá de los confines nacionales. Por ende, se requiere de una acción colectiva cooperativa internacional.

La oficina de Derechos Humanos de las Naciones Unidas (Oficina del Alto Comisionado) (ACNUDH 2015a) sostiene que las acciones estatales deben reflejar lo siguiente:<sup>3</sup>

- a) Mitigar el CC y prevenir los efectos negativos en términos de derechos humanos.
- b) Asegurar que todos los individuos cuenten con la capacidad necesaria para adaptarse al CC.
- c) Los firmantes de las convenciones del CC tiene como obligación asegurar la responsabilidad y remedios efectivos para los derechos humanos provocados por este fenómeno. Esto incluye la obligación frente a todos los derechohabientes (seres humanos) e incluso por el daño fuera de sus fronteras y por "...su incapacidad para regular las emisiones de las empresas bajo sus jurisdicciones independiente de donde estas emisiones efectivamente ocurren". Esta afirmación es trascendental en tanto significa una evolución del Derecho Internacional tradicional sobre los derechos del Estado, reconociendo la titularidad del ser humano frente a situaciones

3 Mensaje clave sobre Derechos Humanos y Cambio Climático (traducción propia).

*de facto* existente. Entra también en oposición con algunos de los preceptos reconocidos en instrumentos comerciales, donde se reconoce el derecho de las corporaciones a saltar las instancias jurídicas nacionales para proteger sus intereses o derechos.

- d) Poner a disposición el máximo de recursos posibles para lograr un desarrollo sostenido basado en los derechos humanos.
- e) Para enfrentar los riesgos del CC es indispensable la cooperación internacional.
- f) La acción climática debe ser equitativa.
- g) Garantizar que los beneficios de la ciencia y sus aplicaciones, en particular aquellas que han ayudado a mejorar y mitigar efectos climáticos, alcancen a todos.
- h) Proteger a los derechos humanos de los daños causados por las empresas (ACNUDH 2011). Los Estados están obligados a hacer a las empresas proteger estos principios y a que éstas tomen las medidas necesarias para proteger los derechos de las personas, así como garantizar que sus propias actividades no vulneren dichos derechos. Por ende, las empresas son responsables de sus acciones en términos de impacto ambiental.
- i) Los esfuerzos contra el CC no deben exacerbar desigualdades entre estados.
- j) Asegurar participación significativa e informada.

El tema de los derechos humanos debería ser considerado siempre que se discutan los problemas y necesidad de enfrentar al CC pues, como se ha evidenciado en el caso de la ingeniería climática, los métodos en ocasiones utilizados o propuestos son, al igual que el CC en sí, de largo alcance, penetrantes y no siempre evidentes. En ocasiones la falta de suficiente investigación sobre consecuencias, o el obviar el impacto de éstas, han llegado a generar impactos casi tan negativos como el propio cambio climático.

Como en otras instancias, el uso (inadecuado) y/o no suficientemente valorado de la ingeniería climática ha logrado impactar a parte de la población mundial, que ya vive en situaciones de vulnerabilidad y experimenta a diario el cambio de estaciones, la destrucción de la agricultura, la falta de agua, los espacios habitables en situaciones de riesgo y un acceso limitado a la salud; además de que también se encuentran legalmente desprotegidos.

El uso de la ingeniería climática representa además un reto jurídico en todos los sentidos, desde el administrativo (en términos de responsabilidad civil y estatal), así como en temas de la vulneración de los derechos fundamentales de los seres humanos en diversas zonas del planeta. Asimismo, la ingeniería climática conlleva en muchas ocasiones a que quien genera el daño no sea quien lo sufre; de ahí la inequidad y la discriminación *de facto*, vulnerando y dañando la expectativa de vida de muchos y que es, además, violatoria de todos los principios de derechos humanos plasmados en los distintos instrumentos internacionales y adoptados a las legislaciones nacionales.

El problema tanto del CC como de la ingeniería climática es que, si bien pueden ser contundentes, sus efectos son lentos, penetrantes, predominantes, vagos e invisibles y funcionan como multiplicadores de amenazas al exacerbar los problemas ya existentes. En otras palabras, el cambio climático tiende a generar un efecto dominó.

### **Ingeniería climática y los derechos humanos en México**

El cambio climático es un problema ambiental muy relevante para nuestro país porque viene a sumarse, potenciándolos, a los problemas ambientales y sociales ya mencionados. La enorme desigualdad que ha caracterizado el crecimiento económico de las últimas décadas y las situaciones crónicas de marginación hacen que la vulnerabilidad sea el elemento más destacado de un amplio espectro de la población mexicana. Las recientes reformas constitucionales han reconocido la protección que dan los tratados in-

ternacionales como parte de la protección de los derechos humanos, lo que da un viraje respecto de la versión tradicional. Estas reformas han significado una separación de la visión positivista de dichos principios como garantías otorgadas por el Estado, para adoptar la visión basada en la dignidad humana inalienable. De igual manera, se han reincorporado principios y temas importantes del Derecho Internacional Público, al reconocer en el Artículo 4° los derechos a “la alimentación nutritiva, suficiente y de calidad, [...] derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar” así como “derecho a acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente salubre, aceptable y asequible” (CNDH 2018).

En todos estos casos, la Constitución reconoce que el Estado debe garantizar el acceso a estos derechos e incluso reconoce que la ley determinará los términos de la responsabilidad de quien genere el daño y deterioro al ambiente. En otras palabras, la Constitución hace suyos y obligatorios los preceptos presentes en los distintos instrumentos internacionales de los que México es signatario. Además, estos principios son reforzados a través de las leyes secundarias tales como la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, así como otras leyes complementarias.

Bajo estos preceptos se ha creado una red de instituciones encargadas de vigilar el cumplimiento de los preceptos constitucionales, si bien más en términos de protección al ambiente que como protectores de los derechos humanos. Entre estas instituciones se encuentra la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), principal institución encargada; la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa); el Institución Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio); la Comisión Nacional del Agua (Conagua); la misma Secretaría de Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), y la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH), quien

ha emitido diversas recomendaciones en esta materia, a quienes han sido afectados a partir de las condiciones derivadas del CC.

A nivel local, la Constitución Política de la Ciudad de México, documento innovador recién entrado en vigor el 17 de septiembre del 2018, reconoce el derecho a la vida digna; el derecho al cuidado, a la alimentación y a la nutrición, a la salud, al agua y al saneamiento, al desarrollo sustentable, y el derecho a la ciudad. Todo ello lo hace al adoptar explícitamente los principios internacionales en materia de protección a los derechos humanos. Como en muchos otros aspectos, México se caracteriza por ser “vanguardista” en términos formales tanto en temas de CC como de estos derechos humanos; ha llevado a cabo reformas constitucionales trascendentales, cuenta con legislación que permite e incluye ambos temas como prioritarios, pero al momento de la implementación, la balanza es insuficiente.

No obstante este avance normativo realizado por el país, se reconoce una falta importante de información y estrategias, no sólo a nivel institucional, sino también desde el punto de la sociedad civil, quien tiende a desconocer el alcance de sus derechos y la obligación estatal de velar por los mismos. A esto se aúna la falta de coordinación e intercambio de información entre las mismas instancias públicas (CNDH 2018), la falta de recursos y de personal suficiente para la inspección y vigilancia, así como la obligatoriedad jurídica (o coercitividad) de las resoluciones/recomendaciones de estas instancias.

A estas instancias progresivas e inclusivas debe agregarse una legislación que mantenga un control sobre las medidas paliativas propuestas por la ingeniería ambiental que requiere, al tiempo que muestre claras pruebas de eficacia, además de que presente estudios de riesgo, revisión y adaptación a la zona de uso y consecuencias en términos de responsabilidad, así como medidas de remediación que permitan la recuperación del daño efectuado.

## **Conclusiones**

Desde hace ya varios años se ha reconocido que hay un vínculo indisoluble entre derechos humanos y cambio climático, a través del cual el segundo impacta cada vez más negativamente sobre los primeros. Además, se acepta la dificultad y, en algunos casos, la imposibilidad de los estados de garantizar los derechos más fundamentales del ser humano, como el derecho a la salud, a la autosuficiencia alimentaria, al agua, a la casa, a la autodeterminación, en resumen, a la vida misma, y no sólo para las generaciones futuras, sino en el presente, en el día a día de millones de seres humanos. En este sentido el cambio climático es el reto más importante que enfrenta la humanidad en la actualidad.

Para poder enfrentar el problema, con alguna posibilidad de éxito –que es modesto respecto a las dimensiones de este, pues la no reversibilidad del daño nos deja como única oportunidad el no profundizarlo–, se requiere hacer un cuestionamiento profundo, reflexivo y autocrítico sobre los paradigmas que al momento dirigen nuestras vidas. Para lograrlo quizá nuestra única oportunidad es abordarlo desde una perspectiva diferente, desde la de los derechos humanos y hacer de este tema el centro de la discusión. En otras palabras: se requiere la rehumanización del discurso político, económico y social.

La sociedad mundial actual, a pesar de los altibajos en su aplicación, ha reconocido la universalidad de los derechos humanos y lo inalienable de los mismos. Por ende, centrar el actuar hacia la mitigación de los efectos del cambio climático como elemental en la protección de los principios antes expuestos, ayudaría a debilitar los argumentos en contra de éste. Esta problemática ambiental ha llevado al derecho internacional hacia fronteras insospechadas en su origen y que requieren un mayor estudio. De nuevo, el tema pone la luz sobre el debate que debe permear la situación actual de las ciencias sociales, la centralidad del ser humano, el hombre como destino y es, a la vez, un enorme reto moral que debe ser atendido desde la perspectiva de los derechos

humanos por el impacto en la vida cotidiana de gran parte de la población mundial, ya que lo que está en riesgo es la supervivencia del ser humano. Se requiere un cambio “revolucionario” en nuestra manera de pensar. El cambio climático y sus efectos sociopolíticos no son un problema exclusivo de los países pobres, sino que requiere que todas las naciones se encuentren unidas en un destino común, que necesita acciones coordinadas y proactivas de la comunidad internacional en su totalidad.

Bajo esta premisa, las medidas propuestas mediante la ingeniería climática deben de estar supeditadas, sí al mejoramiento o control de las consecuencias del cambio climático, pero siempre bajo la perspectiva de los derechos humanos y de su impacto en la vida cotidiana de las poblaciones potencialmente afectadas.

## Referencias

1966. *Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos*. 16 diciembre. Adhesión de México 24 marzo 1981.
2017. *Constitución Política de la Ciudad de México*. 5 febrero, en vigor a partir del 17 de septiembre 2018.
- ACNUDH. 2011. “The United Nations Guiding Principles on Business and Human Rights”. [https://www.ohchr.org/Documents/Publications/GuidingPrinciplesBusinessHR\\_EN.pdf](https://www.ohchr.org/Documents/Publications/GuidingPrinciplesBusinessHR_EN.pdf).
- \_\_\_\_\_. 2015a. “Key Messages on Human Rights and Climate Changes”. [https://www.ohchr.org/Documents/Issues/ClimateChange/KeyMessages\\_on\\_HR\\_CC.pdf](https://www.ohchr.org/Documents/Issues/ClimateChange/KeyMessages_on_HR_CC.pdf).
- \_\_\_\_\_. 2015b. “Understanding Human Rights and Climate Change”. Documento presentado para la 21 Conferencia de las Partes a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 27 noviembre.
- AIDA. 2011. “Informe elaborado por la Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente”. [www.aida-americas.org](http://www.aida-americas.org).

- C40 Cities. 2017. "Consumption-Based Ghg Emissions Of C40 Cities". [https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/researches/images/68\\_C40\\_GHGE-Report\\_040518.original.pdf?1529597233](https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/researches/images/68_C40_GHGE-Report_040518.original.pdf?1529597233).
- CARMONA TINOCO, Jorge Ulises, coord. 2016. *Cambio climático y derechos humanos*. México: Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- CMNUCC. 1992. "Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático". <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- \_\_\_\_\_. 2005. "Datos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero del periodo 1990-2003, presentados a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". [https://unfccc.int/resource/docs/publications/key\\_ghg\\_execsum\\_sp.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/key_ghg_execsum_sp.pdf).
- \_\_\_\_\_. 2008. "Informando sobre cambio climático. Manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes no-Anexo I de la CMNUCC". [https://unfccc.int/resource/userman\\_nc\\_sp.pdf](https://unfccc.int/resource/userman_nc_sp.pdf).
- CNDH. 2018. *Información relativa a la Resolución 7/23 del Consejo de Derechos Humanos, intitulada "Los Derechos Humanos y el Cambio Climático"*. Comunicado de Prensa DGC/269/18, 18 de septiembre.
- CONSEJO DE DERECHOS HUMANOS. 2008. *Los derechos humanos y el cambio climático. Resolución del 28 marzo 41a sesión*.
- CRUZ, E. 2018. "Esto es lo que sabemos de los cañones antigranizo de Volkswagen México". *Expansión*. <https://expansion.mx/empresas/2018/08/15/esto-es-lo-que-sabemos-de-los-canones-antigranizo-de-volkswagen-mexico>.
- DELGADO, G. C. 2018. *Climate change, Sensitive cities*. 2018. [https://drive.google.com/file/d/1j6Bx40cw\\_CosLDuQM99H2VeVNbofa3J5/view](https://drive.google.com/file/d/1j6Bx40cw_CosLDuQM99H2VeVNbofa3J5/view).
- DO RIO CALDEIRA, T. 2007. *Ciudad de muros*. Barcelona: Gedisa.
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. 2015. "Geoingeniería y modificación del clima". <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=30328>.

- EL SOL DE PUEBLA. 2018. “Cañones antigranizo causan polémica en Puebla”. <https://www.elsoldepuebla.com.mx/republica/sociedad/canones-antigranizo-causan-polemica-en-puebla-1916924.html>.
- EUROPA PRESS. 2018. “La ingeniería climática no admite la marcha atrás”. <https://www.europapress.es/ciencia/habitat-y-clima/noticia-ingenieria-climatica-no-admite-marcha-atras-20180122173207.html>.
- GAY C. y C. Rueda. 2017. *Reporte mexicano de cambio climático. Volumen 1*. México: PINCC/UNAM. [http://www.pincc.unam.MX/LIBRO\\_REPORTEMEX/RMCC\\_VOL1.pdf](http://www.pincc.unam.MX/LIBRO_REPORTEMEX/RMCC_VOL1.pdf).
- GIBBETS, J. 2018. “Wind and solar power plants in Sahara could turn desert green”. *Independent*. <https://www.independent.co.uk/environment/wind-solar-power-sahara-desert-green-climate-change-renewable-energy-a8526361.html>.
- INECC. 2018. “Efectos del cambio climático”. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>.
- IPCC. 2014. “Fifth Assessment report, Summary for policymakers”. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf).
- LÓPEZ FELDMAN, A. 2014. *Cambio climático, distribución del ingreso y la pobreza. El caso de México*. Santiago: Cepal.
- MARROQUÍN, A. 2013. “Peligros de la ingeniería climática”. *Hoy*. <http://blogs.hoy.es/ciencia-facil/2013/04/25/los-peligros-de-la-ingenieria-climatica/>.
- MOLANO CAMARGO, F. 2016. “El derecho a la ciudad: de Henri Lefebvre a los análisis sobre la ciudad capitalista contemporánea”. *Folios*, n.º 44: 3-19. <http://www.scielo.org.co/pdf/folios/n44/n44a01.pdf>.
- ONU. 1948. *Declaración Universal de Derechos Humanos*. 10 diciembre.
- ONU-HÁBITAT. 2011. “Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas”. <https://unhabitat.org/es/node/92208>.

- PATIÑO, D. 2018. “Cañones granizo sí afectan cultivos, asegura especialista”. *Municipios Puebla*. <https://municipiospuebla.mx/nota/2018-08-09/cuautlancingo/ca%C3%B1ones-antigranizo-s%C3%AD-afectan-cultivos-asegura-especialista>.
- PURCELL, M. 2003. “Citizenship and the right to the global city: Reimagining the capitalist world order”. *International Journal of Urban and Regional Research* 27, n.º 3: 564-590.
- RAYNOVA, S., B. Gabbitas, L. Bolzoni y F. Yang. 2016. “Development of low cost PM Ti alloys by thermomechanical processing of powder blends”. *Key Engineering Materials* 704: 378-387.
- ROBINSON, M. 2015. “Why Climate Change Is a Threat to Human Rights”. <https://www.youtube.com/watch?v=7JVTirBEfho>, 14 octubre.
- SALDÍVAR LUCIO, R., S. Lluch Cota y C. Castro Iglesias. 2017. “Impactos de la ingeniería climática”. *Ciencia* 68, n.º 1: i-1-i-6. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/IngenieriaClimatica.pdf>.
- UNISDR. 2012. “Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un Manual para líderes de los gobiernos locales”. [https://www.unisdr.org/files/26462\\_manualparalideresdelosgobiernosloca.pdf](https://www.unisdr.org/files/26462_manualparalideresdelosgobiernosloca.pdf).



# 11. Retos y perspectivas para combatir el cambio climático en México

Gustavo Sosa Núñez

## Introducción

Como el resto del mundo, México cuenta con el bagaje académico para profundizar en el combate al cambio climático. Este libro da muestra de ello. Ya sea desde el plano de las ciencias duras, de las ciencias sociales o de su relación a través de la valoración de los sistemas socioecológicos, se observa un creciente interés por abordar la problemática.

La manera en cómo se percibe el cambio climático también ayuda a interpretarlo y entenderlo. El arte juega un papel importante en este proceso, pues abona a la concientización de la magnitud del reto, de lo imperante y necesario del accionar colectivo. A la vez, el uso de representaciones e interpretaciones podría sólo ralentizar la búsqueda de la solución del tema, al romantizar las acciones y los impactos, y desviar la atención del enfoque pragmático y la urgente necesidad de cambio de paradigma.

Este libro muestra apreciaciones diversas sobre el impacto del cambio climático, y son diversos los retos por afrontar. Diversas también son las perspectivas para hacerle frente, dependiendo de los actores involucrados y su jerarquización.

Aun con este contexto es posible identificar un camino a seguir a partir de lo que ya se ha logrado. México ha desarrollado una política de combate al cambio climático que merece ser analizada y discutida en su justa dimensión, puntualizando áreas de oportunidad para agilizar el actual proceso –ralentizado y ralentizante– que busca posicionar las actividades que se deben llevar a cabo para hacer frente a este problema mundial.

Es así como la política de cambio climático merece atención, pues a partir de ésta se identifican y entienden los retos a los que México debe hacer frente. Existen otros retos que también son comentados en la siguiente sección. Todos ellos deben abordarse simultáneamente. La lista no es exhaustiva, sino ilustrativa, pues más temas pueden incluirse según las particularidades de cada tema/sector, actores participantes, así como sus respectivos intereses y preferencias. Por lo tanto, mediante una revisión de la bibliografía se pretende identificar las principales políticas públicas mexicanas destinadas a combatir el cambio climático.

## Retos

### ◇ *Política de cambio climático*

Desde 2012, México formalizó su compromiso con el tema mediante la creación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) que establece las disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático (Art. 1, LGCC), dejando en claro las facultades de los tres órdenes de gobierno –Federal, estatal y municipal– en “la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero” (Art. 2, LGCC). Para ello, se creó el Sistema Nacional de Cambio Climático (Sinacc), que funge como el mecanismo de concurrencia, colaboración, coordinación y concertación sobre la política nacional de cambio climático, y que busca promover la aplicación transversal de la política nacional en la materia a corto, mediano y largo plazos (Sinacc 2014).

El Sinacc, por su parte, está conformado por instituciones que también quedaron delimitadas en la LGCC: la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), el Consejo de Cambio Climático (C3), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), así como los gobiernos de las entidades federativas, representantes de asociaciones nacionales, de autoridades municipales y del Congreso de la Unión (Art. 40, LGCC).

De estas instituciones, destaca la CICC, pues compila a diferentes Secretarías de Estado con diversos mandatos (ver Art. 45, LGCC). Esto complementa –en teoría– las diversas perspectivas necesarias para alinear esfuerzos en torno a la mitigación y adaptación al cambio climático.

También se delimitaron instrumentos de política en la LGCC, como la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), y el Programa Especial de Cambio Climático (PECC). La primera “es el instrumento de planeación que define la visión de largo plazo y que además rige y orienta la política nacional con una ruta a seguir que establece prioridades nacionales de atención y define criterios para identificar las prioridades regionales” (Gobierno de la República 2013, 8). El segundo complementa al Plan Nacional de Desarrollo (PND), es elaborado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y establece “los objetivos, estrategias, acciones y metas para enfrentar el cambio climático mediante la definición de prioridades en materia de adaptación, mitigación, investigación, así como la asignación de responsabilidades, tiempos de ejecución, coordinación de acciones y de resultados y estimación de costos” de la administración pública federal, de acuerdo con la ENCC (Gobierno de la República 2014, 6). También es importante considerar a los respectivos programas estatales y municipales de cambio climático, que deben estar alineados a la ENCC.

Es así como la formulación de la política de cambio climático está delimitada con claridad y con posibilidad de actualización y mejora debido a la periodicidad con que los programas –tanto

federal, como los nacionales— son elaborados. Sin embargo, este tema está rezagado en la agenda pública y política debido esencialmente a la falta de tres aspectos: la apropiación de éste por parte de la mayoría de los actores involucrados, el entendimiento de la problemática, y del sentido de urgencia para implementar acciones congruentes y complementarias.

Cabe señalar que se observan posturas divergentes entre las distintas dependencias participantes de la política de cambio climático. El ejemplo más claro es el énfasis que el sector energético otorga a la producción y el consumo de combustibles fósiles, mientras que el sector ambiental promueve la concientización del comportamiento individual y señala someramente la importancia de transitar a energías renovables. Esto sucede aun cuando la LGCC enfatiza en la importancia de coordinarse de manera interinstitucional para diseñar, implementar y evaluar la política nacional correspondiente. Lo que se infiere es una ausencia de comunicación entre dependencias —y al interior de éstas— sobre el establecimiento de la ruta común a seguir.

Entonces, uno de los principales retos es ubicar al cambio climático en su justa dimensión, al considerar el contexto de cada sector gubernamental y del país en su conjunto (Sosa 2017). Para ello, es fundamental que la política en la materia se encuentre en la lista de prioridades del gobierno, lo que implica que desde la Presidencia de la República se haga explícito este aspecto, y que se tome en cuenta la verticalidad del presidencialismo que caracteriza al sistema de gobierno mexicano. Una vez que esto sea entendido y aceptado es posible que la implementación de la política de cambio climático sea eficaz y relevante, pues podría existir la posibilidad de que quienes no trabajan temas ambientales contribuyan a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Si bien es cierto que el PECC ha permitido institucionalizar la transversalización de acciones de cambio climático en el plano federal, también se ha reconocido que es necesario fortalecer dicha transversalidad y mejorar la comunicación entre los distintos ac-

tores responsables de implementar la política climática (INECC 2017). Aunado a esto, es importante reiterar que mientras no haya apropiación del tema, la comunicación interinstitucional continuará siendo superficial y sin tener el impacto adecuado o esperado.

◇ **Concientización a la ciudadanía y educación**

No sólo los actores gubernamentales son responsables de una correcta implementación de política pública sobre el cambio climático. Prácticamente toda la población debe ser copartícipe de este esfuerzo, pues se es causante del problema de una u otra forma, y en distintos grados o niveles. Por eso también deben identificarse responsabilidades comunes pero diferenciadas, y emular así el principio establecido en el derecho internacional para temas ambientales. Sólo que esta vez se deberían contemplar diferencias en torno al nivel de ingreso y consumo en cuanto a ciudadanos se refiere; y de producción, ingreso, y alcance de daño ambiental respecto al sector privado, por citar ejemplos.

La educación y la cultura también juegan un papel relevante. La LGCC lo reconoce, al tenerlas como objetivos centrales (Art. 2, Frac. V, LGCC) y se plantea su promoción en todos los niveles educativos, incluyendo campañas para sensibilizar a la población sobre causas y efectos a distintos niveles de gobierno (Art. 7, Fracc. XI, LGCC; Art. 9, Fracc. V, LGCC). Incluso, se propone la inclusión de contenido sobre cambio climático en libros y materiales didácticos (Art. 22, Frac. XII, LGCC), aunque esto depende de la disposición de las autoridades educativas, que a su vez depende de la apropiación que tengan del tema, como se ha explicado previamente.

Es en este sentido que se debe valorar el impacto que pudiera tener este tipo de acciones contempladas en la ley. Por ejemplo, la concientización sobre la problemática del cambio climático no será igual si existe una sola clase durante el año escolar para tratar estos temas que si se incluyen materias secuenciales a lo largo de diferentes niveles escolares y se explica la importancia del actuar colectivo para mitigar y adaptarse al cambio climático.

Tampoco será el mismo impacto si la promoción del tema lo realiza sólo personal del sector ambiental, que si lo realiza gente adscrita a los diversos sectores representados en la coordinación interinstitucional que plantea el Sinacc.

Aunado a esto, la investigación y el fomento a la capacidad científica, tecnológica y de innovación sobre desarrollo sustentable, medio ambiente y cambio climático se consideran de relevancia (Art. 22, frac. XIII, LGCC). En cuanto a mitigación, se enfatiza en la transferencia de tecnología para transitar a una economía sustentable, competitiva y de bajas emisiones en carbono (Art. 33, Fracc. II, LGCC), así como para la eficiencia y la transición energética. En este contexto, la innovación es relevante para el fomento de tecnologías relacionadas a energías renovables, en las que el Estado debería participar como productor y no sólo como regulador. Incluso, la promoción a las emisiones negativas, que no implica mucha injerencia de tecnología, que esencialmente refiere al secuestro de carbono y el fomento de reservorios, también deben fomentarse. En otras palabras, se debe buscar la conservación y la gestión de los bosques.

Ésta es una de varias opciones de mitigación. No obstante, es de las más importantes y viables en tanto que no implica cambios drásticos en el comportamiento humano, sino sólo preservar lo ya existente. La reforestación es un aspecto adicional importante, y debe considerarse tomando en cuenta las características naturales de las áreas a considerar para tal acción.

Hay otros tantos temas. El cuidado de océanos y el aire, y las implicaciones que esto tiene para la industria también deben en ser abordados. Se debe entender que, considerando las condiciones actuales de deterioro, hay y habrá perdedores ante el contexto de cambio climático. La cuestión es definir el número y tipo de afectados: por lo general se señala a los pobres como los más perjudicados, tanto en el presente como a futuro, pero en el mediano y a largo plazos será un número mayor de población afectada. De manera paradójica, será la industria transnacional beligerante la

que se vea más afectada, aun cuando el cambio climático contribuya a una desigualdad mayor a la ya existente.

Ante esto, es importante destacar que el punto neural de este tema es la voluntad política de la gente que está en el poder. Los gobiernos deben decidir de qué lado se alinean para buscar la preservación de la especie humana. Esto necesariamente implica valorar la continuidad del sistema económico actual, y la transición a otros modelos de apreciación del bienestar.

Propuestas ya existen, como es el caso del decrecimiento, el problema es que no son difundidas con amplitud, ni tampoco son aceptadas como viables, justo por la postura que tienen contra la producción y el consumo que caracteriza el modelo actual. Entonces, vale la pena preguntarse si un cambio de paradigma es un derecho humano o si lo es la preservación del *status quo*.

◇ ***Reconocimiento de la relación entre derechos humanos y cambio climático***

Aun cuando el cambio climático es considerado como un tema netamente ambiental, también tiene relación con los derechos humanos, pues se relaciona con el derecho a la vida digna, a la salud, al agua, a una alimentación adecuada, a una vivienda adecuada y a un medio ambiente sano; todos estos temas relacionados entre sí. Esto es porque se han documentado efectos negativos relacionados con la variación de la temperatura en los componentes considerados. Por ejemplo, el cambio climático afecta a la salud por el incremento en las tasas de mortalidad y morbilidad por eventos meteorológicos extremos; por modificaciones a ecosistemas y subsecuentes cambios en la distribución de organismos transmisores de enfermedades o padecimientos transmitidos por agua; por desnutrición debido a alteraciones en la producción agropecuaria; por lesiones corporales ocasionadas por conflictos debido a desplazamientos forzados asociados a fenómenos hidrometeorológicos extremos, y por la falta de atención médica adecuada como consecuencia de daños a infraestructura sanitaria por tales eventos,

como ciclones, tormentas e inundaciones (Carmona 2016). Otro ejemplo refiere al agua, cuyo acceso se proyecta complicado debido a la tendencia a la desertificación. Por su parte, el medio ambiente experimenta un deterioro constante y la pérdida, en ocasiones definitiva, de distintas especies de flora y fauna.

El cambio climático también se relaciona con otros temas. La pobreza, las condiciones laborales, la educación, las necesidades de vivienda, las tasas de mortalidad materna, y el acceso a la seguridad social son sólo algunos temas que están relacionados con el medio ambiente y el cambio climático; aunque usualmente se consideren de modo desagregado.<sup>1</sup>

Esto se hace explícito en el contexto de los Derechos Económicos, Sociales, Culturales y Ambientales (DESCA). La diversidad que contempla este concepto se relaciona con acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, yendo más allá de la “A” que infiere el tema ambiental en los DESCAs, y que no se contemplaba en el Pacto Internacional que les dio forma en 1966. Este contexto observa la internacionalización de la agenda climática, de su importancia para los derechos humanos, para la protección del medio ambiente y para el fomento al desarrollo sostenible; lo que enfatiza el carácter multidisciplinario del tema.

#### ◇ *Internacionalización multidisciplinaria del cambio climático*

Los DESCAs señalados en el apartado anterior tienen relación con diversas instancias internacionales, ya sea la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, o el Pacto Mundial para una Migración Segura, Ordenada y Regular, por citar los ejemplos más relevantes a juicio de este autor.

1 El decrecimiento es una crítica a la economía del crecimiento, busca una reducción equitativa de la producción y del consumo, y disminuye así los flujos de energía y materias primas (ver Schneider, Kallis, y Martínez-Allier 2010; Kallis, Demaria, y D’Alisa 2016).

Así, se puede observar la relación que puede establecerse del cambio climático con diversos contextos internacionales, aun cuando haya un contexto generalmente asociado con el combate al cambio climático, como es la CMNUCC (ONU 1992), el Acuerdo de París (ONU 2015a) y las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés) que cada país firmante propuso y están incluidas como anexos a dicho acuerdo, incluida la de México (Gobierno de la República 2015).

Por su parte, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, conformada por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también enfatiza en la importancia de abordar el cambio climático (ONU 2015b). En específico, el ODS 13 se destina para el combate al cambio climático, aun cuando se hace referencia explícita a que este tema se trata en el contexto de la CMNUCC. De hecho, las metas desarrolladas para el ODS 13 están relacionadas de forma intrínseca al Acuerdo de París y la NDC que cada país propuso. La Agenda 2030 apuesta a que la complementariedad de todas las acciones propuestas en los distintos NDC logrará la consecución de las metas de este ODS, pero esto no necesariamente significa que haya avances reales respecto al desarrollo e implementación de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático. Así, el ODS 13 apunta en particular al proceso de formulación de políticas sobre cambio climático.

Ahora bien, este tema tiene relación con otros ODS debido a su carácter transversal, y algunos establecen la conexión de manera explícita. Este es el caso del ODS 2, relacionado con el fin al hambre y la seguridad alimentaria, y en el que se reconoce la importancia de adaptar sistemas de producción de alimentos al cambio climático y diversos fenómenos meteorológicos extremos. También es el caso para el ODS 11, sobre ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, y en los que se reconoce la importancia de adoptar e implementar políticas de mitigación y adaptación.

Hay otros ODS relacionados, aunque su conexión es implícita. Ejemplos de ello son la modificación de patrones actuales de pro-

ducción y consumo, planteados en el ODS 12, y la reducción de la mortalidad y morbilidad ocasionadas por la polución del aire, el agua y el suelo, como lo indica el ODS 3. También se encuentran el ODS 4, sobre acceso a la educación y promoción de conocimientos acerca del desarrollo sostenible; el ODS 5, referente a la igualdad de género y el acceso de las mujeres a la propiedad y el control de los recursos naturales; el ODS 9, enfocado a la infraestructura resiliente y la industrialización sostenible para promover el uso de recursos con mayor eficacia y de procesos industriales ambientalmente racionales.

También están los ODS cuyos temas y metas van de la mano con el cumplimiento del ODS 13, como son el ODS 6 (acceso al agua), el ODS 7 (acceso a la energía sostenible), el ODS 14 (vida marina), y el ODS 15 (vida terrestre). Todos ellos con especificaciones que abonarían directamente a la mitigación al cambio climático.

Por su parte, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres y el Pacto Mundial para la Migración contemplan al cambio climático como variable independiente. El primero lo observa incidiendo tanto en el riesgo de desastres, como en su frecuencia e intensidad, ante lo cual afirma la importancia del mandato de la CMNUCC (ONU 2015c). El segundo reconoce que el tema influye en los movimientos migratorios, mismos que tenderán a exacerbarse por los desastres que ocasione, desplazando así a más gente (ONU 2018). En ambos contextos se invita a los gobiernos nacionales a invertir en medidas de mitigación y adaptación.

Estos distintos ejemplos confirman la importancia de considerar a las políticas públicas en un contexto multidisciplinario, pues se relacionan con el cambio climático, ya sea como causa o como consecuencia, e influyen en el desarrollo y posible éxito de las medidas de mitigación y adaptación planteadas en la actualidad. En este contexto, otro reto importante es la comunicación que se tenga entre los distintos procesos internacionales que, si bien pueden ser complementarios, también pueden fomentar la duplicidad de esfuerzos y, posiblemente, reducir el impacto de cada uno de ellos.

Ahora bien, es pertinente señalar que aun cuando estos procesos de cooperación y de definición de agendas a nivel internacional no contemplan –al menos de manera explícita– la participación de los grandes contaminantes, quienes escapan de la rendición de cuentas por los daños ambientales que ocasionan y que usualmente no están considerados como costos en sus procesos productivos. En específico, es el caso de las empresas productoras de combustibles fósiles, 100 de las cuales son responsables por más de 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) desde 1988 (Griffin 2017). De entre ellas, destaca que Petróleos Mexicanos (Pemex) esté ubicada como la séptima empresa con mayores emisiones contaminantes acumuladas entre 1988 y 2015, con 16 804 MtCO<sub>2</sub>e (millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente) (Griffin 2017). Ante esto, y si se considera que México se presenta como paladín ambiental en los distintos foros internacionales, ¿cómo debe abordar esta problemática?

### **Perspectivas**

Los pronósticos no son alentadores, el cambio climático ya se está viviendo. Se presencian eventos hidrometeorológicos extremos como el deshielo del Ártico y el Antártico, el incremento en el nivel del mar o las ondas de calor, por citar algunos ejemplos. Según un reciente reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se necesitan cambios profundos y sin precedentes en todos los aspectos de las sociedades actuales para limitar el calentamiento global a 1.5 °C (IPCC 2018). La titánica tarea implica modificaciones que se relacionan con los retos referidos en el apartado anterior.

Para poder reducir las emisiones de GEI y transitar a energía renovable es importante tener políticas nacionales congruentes, con población informada y consciente de la magnitud del problema. Además, debe entenderse que es únicamente a través de la colaboración de todos, sin considerar fronteras nacionales y en esquemas como la Agenda 2030, que el problema puede ser abordado.

La apremiante urgencia con que se deben abordar las causas del cambio climático ha ocasionado acciones de diversa índole. Más allá de lo que formulan los gobiernos nacionales, existe la presión de la población para que haya acciones contundentes. Por ejemplo, aun con la postura antagonista de la administración federal de Estados Unidos en torno al cambio climático, hay adolescentes demandando a su gobierno por su omisión a combatir el problema (Schwartz 2018). En ese mismo país se ha fomentado el activismo político de la comunidad científica para candidatearse en elecciones intermedias, motivada por la postura anticlimática de su administración federal (Lee *et al.* 2018). También hay una tendencia a presionar para que se suspenda la inversión en combustibles fósiles (Yona y Lenferna 2016), así como en otros países (Rimmer 2016). ¿Qué nos dice esto? Que la ciudadanía se está tomando en serio el combate al cambio climático porque ven que sus derechos –no sólo los ambientales– están siendo afectados, y entienden que las implicaciones son y serán mayúsculas, independientemente de la temporalidad del plazo.

Ahora bien, aun cuando se aborden los retos de forma conducente, la ralentización de acciones y la falta de apropiación del tema por parte de la mayoría de los actores involucrados indican que son las estrategias de adaptación las que tendrán mayor relevancia, pues permitirán identificar el camino a seguir. La mitigación, por su parte, quedará registrada como el esfuerzo que en vano se realizó en un determinado momento para intentar modificar tendencias preocupantes.

El mercado, como sistema, es y será cómplice en ambos casos. Las emisiones de GEI se comercializan ahora, regulando su compra-venta para que quienes tienen mayores recursos económicos estén posibilitados a seguir contaminando. ¿La consecuencia? La ralentización de la implementación de la mitigación de emisiones. Esto tergiversa perversamente el principio de que “quien contamina paga”, pues son y continuarán siendo

las grandes industrias contaminantes las que estarán posibilitadas para cumplir dicho principio.

Con respecto a la adaptación, el mercado será el que defina las acciones, tomando en cuenta las zonas geográficas a tratar y sus características económicas y poblacionales. Esto es, las estrategias de adaptación se empezarán a sectorizar tomando en cuenta parámetros de ingreso, que a su vez tienden a seguir patrones sociales, patriarcales, de nivel educacional y etnicidad. Esto es: quien tenga recurso tendrá mayores probabilidades de adaptarse. Así se complejiza un tema coyuntural que incidirá en –y será incidido por– la distribución del ingreso.

### **Conclusiones**

El cambio climático es multiplicador de amenazas y conflictos. También se relaciona con casi todo sector gubernamental, e involucra a toda la población. La LGCC oportunamente apunta a esto, al indicar la importancia de la participación de distintos sectores, de la sociedad civil, la ciudadanía, el sector privado y la academia. Este capítulo ha presentado la importancia de dicho ordenamiento legal, y la relación que tiene con otros temas, como la educación y la innovación tecnológica. También se ha entendido la importancia de concientizar y educar a la ciudadanía, fomentando el entendimiento de que el cambio climático no es sólo un tema ambiental, pero la omisión o ralentización de acciones para su combate tiene y tendrá implicaciones en los planos social e individual.

Los desarrollos tanto social como económico no pueden sostenerse si los problemas ambientales –como el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad, y el incremento de desperdicio y contaminantes– son ignorados. Por el contrario, la falta de progreso en la protección del clima, el suelo, las especies, y el agua puede crear un incremento en costos para la economía y un retraso en el progreso social.

México ha entendido esto. Ya tiene una LGCC que permite la creación de un Sinacc en el que participan actores de distinta índole.

le y procedencia, e instrumentos programáticos, como una ENCC a largo plazo (10-20-40), y un PECC de carácter sexenal, además de programas estatales y municipales al respecto. El problema es implementar esta política de manera fehaciente. De darse, se tocarán intereses importantes que pueden influir en el desarrollo y la implementación de otras políticas nacionales. Esta encrucijada no es sólo de México, sino de todo gobierno y nación, lo que reitera la importancia de la disposición y el compromiso para actuar.

## Referencias

2012. “Ley General de Cambio Climático (LGCC)”. *Diario Oficial de la Federación*. 6 de junio. Última reforma publicada: 07-13-2018.
- CARMONA Tinoco, J. U., coord. 2016. *Cambio climático y derechos humanos*. Ciudad de México: CNDH. Acceso el 6 de enero de 2019. <http://appweb.cndh.org.mx/biblioteca/archivos/pdfs/folleto-Cambio-Climatico-DH.pdf>.
- GOBIERNO DE LA REPÚBLICA. 2013. “Estrategia Nacional de Cambio Climático: Visión 10-20-40”. Acceso el 4 de enero de 2019. [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06\\_otras/ENCC.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf).
- \_\_\_\_\_. 2014. “Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)”. Acceso: 4 de enero de 2019. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014).
- \_\_\_\_\_. 2015. “Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el período 2020-2030”. Acceso el 9 de enero de 2019. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015\\_indc\\_esp.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf).
- GRIFFIN, P. 2017. *The Carbon Majors Database. CDP Carbon Majors Report 2017*. Londres: Carbon Disclosure Project-Climate Accountability Institute. <https://www.cdp.net/en/articles/media/new-report-shows-just-100-companies-are-source-of-over-70-of-emissions>.

- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC). 2017. “Evaluación Estratégica del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018”. Acceso el 4 de enero de 2019. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/261388/Informe\\_evaluacion\\_PECC\\_final\\_limpio\\_1\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/261388/Informe_evaluacion_PECC_final_limpio_1_.pdf).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 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 Policy-makers*. Suiza: IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15\\_SPM\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_High_Res.pdf).
- KALLIS, G., F. Demaria, y G. D’Alisa. 2016. “Decrecimiento”. En *Decrecimiento: Un vocabulario para una nueva era*, editado por G. D’Alisa, F. Demaria y G. Kallis, 35-58. Quito: Icaria Editorial-Abya Yala.
- LEE, J. J., A. Maxmen, J. Rehm, y J. Tollefson. 2018. “Science candidates prevail in US midterm elections”. *Nature*. 6 de noviembre. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07322-z>.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). 1992. “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. Acceso el 9 de enero de 2019. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- \_\_\_\_\_. 2015a. “Acuerdo de París”. Acceso el 9 de enero de 2019. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf).
- \_\_\_\_\_. 2015b. “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General A/RES/70/1”. 21 de octubre.
- \_\_\_\_\_. 2015c. “Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030”. Acceso el 9 de enero de 2019. [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaifra-meworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaifra-meworkfordisasterri.pdf).

- \_\_\_\_\_. 2018. “Global compact for safe, orderly and regular migration”. Acceso el 9 de enero de 2019. [https://refugeesmigrants.un.org/sites/default/files/180713\\_agreed\\_outcome\\_global\\_compact\\_for\\_migration.pdf](https://refugeesmigrants.un.org/sites/default/files/180713_agreed_outcome_global_compact_for_migration.pdf).
- RIMMER, M. 2016. “Investing in the future: Norway, climate change and fossil fuel divestment”. En *Environment, Climate Change and International Relations*, editado por G. Sosa-Nunez y E. Atkins, 206-225. Bristol: E-International Relations.
- SCHNEIDER, F., G. Kallis y J. Martínez-Allier. 2010. “Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability”. *Journal of Cleaner Production* 18, n.º 6: 511-518.
- SCHWARTZ, J. 2018. “Young People Are Suing the Trump Administration Over Climate Change. She’s Their Lawyer”. *The New York Times*. 23 de octubre. <https://www.nytimes.com/2018/10/23/climate/kids-climate-lawsuit-lawyer.html>.
- SISTEMA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (Sinacc). 2014. “Declaración del Sistema Nacional de Cambio Climático. Primera Reunión”. Acceso el 4 de enero de 2019. [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40773/2015\\_declaracion\\_sinacc.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40773/2015_declaracion_sinacc.pdf).
- SOSA NÚÑEZ, G. 2017. “La arquitectura institucional e instrumentos de política pública para el cambio climático”. En *Gobernanza climática en México: Aportes para la consolidación estructural de la participación ciudadana en la política climática nacional. Volumen I: Diagnósticos*, coordinado por J. C. Rueda Abad, C. Gay García y B. Ortiz Espejel, 75-92. Ciudad de México: PINCC/UNAM.
- YONA, L. y A. Lenferna. 2016. “The Fossil Fuel Divestment Movement within Universities”. *Environ. Clim. Change Int. Relat*, 190.

# PERCEPCIÓN SOCIAL



## 12. Percepción y conocimiento del cambio climático en escenarios locales

Elizabeth Olmos-Martínez,  
Gabriela Cruz-Piñón  
y Alfredo Ortega-Rubio

### Introducción

Uno de los retos actuales de la sociedad a nivel mundial es el cambio climático (CC), definido como el cambio de clima atribuido, directa o indirectamente, a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables (CMNUCC 1992). En los últimos años, ha habido grandes avances en el entendimiento entre la ciencia y el CC y, de forma reciente, este fenómeno ha tomado mayor relevancia debido a sus implicaciones científicas, políticas, ambientales, económicas y de salud pública (Kindelán 2013).

A partir de la década pasada, se observa una presencia mayor del concepto del CC en los medios de comunicación (Boykoff 2009) y éste ha permeado a la sociedad, pero en muchas ocasiones esta definición se da de manera confusa y controvertida para la mayoría de los ciudadanos (Briceño 2012). Así, la responsabilidad de conseguir un mensaje comunicativo, eficaz y de gran impacto en la conciencia de los ciudadanos reside tanto en los gobiernos, como en los científicos y en los medios de comunicación, por lo que una vinculación efectiva entre ellos podría mejorar aspectos importan-

tes como las estrategias de comunicación para explicar con más claridad los impactos de este fenómeno global (Kindelán 2013).

En ese sentido la percepción de las personas y sus procesos individuales y sociales son moldeados por las condiciones ambientales del lugar donde viven y de la manera en que se divulga el conocimiento (Olmos-Martínez, González y Contreras 2013). Por esta razón, es fundamental estudiar las opiniones dentro de los contextos ecológicos donde ocurren las interrelaciones de las personas con su ambiente y en donde se manifiestan los impactos.

Dado lo anterior, se deriva la necesidad de generar estudios de las percepciones ambientales, tomando en cuenta a diferentes actores sociales involucrados. En este sentido, el conocimiento, las creencias y prácticas de las comunidades permite llenar vacíos en la información, contribuir al diseño de políticas ambientales en verdad públicas, más incluyentes y encaminadas hacia el interés general, y diseñar medidas de mitigación y adaptación al CC efectivas (Olmos-Martínez, González y Contreras 2013; Forero, Hernández y Zafra 2014).

En ese contexto, la ciudad costera de La Paz es la capital de Baja California Sur (BCS) y está ubicada al sur de la Península de Baja California. Cuenta con una población de aproximadamente 244 219 habitantes (Conapo 2015) y es considerada como una ciudad con alta vulnerabilidad al CC debido a su posición geográfica y a su cercanía con la costa, por lo que es propensa a los embates de los huracanes, y al aumento en la temperatura, la precipitación y el nivel medio del mar (Ivanova y Gámez 2012). Asimismo, el acelerado crecimiento poblacional ha provocado un aumento considerable en la generación de desechos y el parque vehicular, poca o nula planificación del crecimiento y ordenamiento urbano y, por lo tanto, aumento en la contaminación y en las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) (Ivanova y Gámez 2012).

Dada la importancia de conocer la opinión y percepción de las personas sobre los principales impactos, sus afectaciones

y actores involucrados para la adaptación social, este trabajo tiene el siguiente objetivo de investigación: analizar la percepción, opinión y conocimiento de los ciudadanos de La Paz, BCS, acerca del cambio climático.

### **Estudios de percepción ambiental**

Las percepciones sociales ambientales son entendidas como la forma en que cada individuo aprecia y valora su entorno, y aporta elementos que, potencialmente, pueden contribuir a la conservación (Moyano, Paniagua y Lafuente 2009). Por ello, la participación ciudadana tendría que ser el eje central de la política ambiental y no, como en el caso de la política ambiental mexicana, un reflejo más de las percepciones, visiones e intereses de los tomadores de decisiones que de la población local (Subirats 1995), situación que repercute en el fracaso o éxito de un programa o política pública (Fernández-Moreno 2008).

Existen estudios de percepción que muestran opiniones generalizadas de la sociedad sobre el cambio climático que, aunque pueden variar según la región (Salazar-Ceballos *et al.* 2014), se generalizan de la siguiente manera: i) existe una gran preocupación individual por los problemas ambientales y el CC, pero al compararlo con otros problemas personales, sociales y económicos, es considerado poco importante (Retamal, Rojas y Parra 2011); ii) existe un conocimiento limitado de las causas y soluciones al CC, así como del modo de atender esta problemática (González-Gaudiano y Maldonado-González 2014); iii) la percepción negativa y amenazante del CC permanece como un riesgo psicológico, temporal y espacialmente distante (Novión y Estrada 2011) –es decir, la ciudadanía percibe mayor riesgo para las futuras generaciones que para las actuales, por lo que el sentido de responsabilidad se vuelve bajo o nulo ante problemas percibidos a nivel global (Olmos-Martínez, González y Contreras 2013); iv) se reconocen los riesgos del CC, aunque existe incertidumbre sobre el potencial de catástrofe del fenómeno (González-Gaudiano y

Maldonado-González 2014); v) existe un deseo de actuar frente a los riesgos percibidos del CC a través de medidas definidas y limitadas (Salazar-Ceballos *et al.* 2014), sin embargo, se observa que existen obstáculos que dificultan la adquisición de conductas respetuosas con el medio ambiente (Olmos-Martínez, González y Contreras 2013); vi) adjudicación de la responsabilidad de mitigar el CC hacia el gobierno (Oltra *et al.* 2009), por lo que los ciudadanos no están completamente dispuestos a modificar su estilo de vida (Olmos-Martínez, González y Contreras 2013); vii) percepción de que los principales riesgos son sobre el ambiente y los recursos naturales y se minimizan los riesgos sociales y económicos (Olmos-Martínez, González y Contreras 2013), y viii) los principales medios de información sobre el CC son radio, televisión, periódicos y centros de educación (Olmos-Martínez, González y Contreras 2013).

El reto que plantean los grandes problemas ambientales hace necesaria la formación de ciudadanos capacitados para valorar y participar activamente en su solución. Estas situaciones deben abordarse desde una concepción sistémica del medio en la que se visualicen las estrechas relaciones de tipo natural, social, económica, cultural y política que subyacen en toda problemática ambiental (Novo 2002).

## Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la encuesta diseñada conjuntamente por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) sobre percepción y conocimiento del CC y la cual pretende orientar las acciones de difusión y adaptación al CC en México. El cuestionario consta de veinte preguntas y fue dirigido hacia la población mayor de 15 años que vive en la ciudad de La Paz, BCS, durante septiembre y octubre de 2016.

De acuerdo con el conteo intercensal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2015), para el año 2015, la

población mayor de 15 años en la ciudad de La Paz ascendía a 152 652 personas, lo que corresponde a un tamaño de muestra de 628 personas con 99% de confianza y 5% de error.

## **Resultados**

Del total de personas encuestadas, 54% corresponden al género femenino, 73% tienen entre 18 y 36 años, y 56% son estudiantes, 30% son empleados administrativos y 3% son amas de casa. A continuación, se presentan las preguntas y respuestas obtenidas para este ejercicio.

La mayoría de los participantes aceptaron que el CC es un fenómeno que está sucediendo no sólo a nivel mundial, sino que es perceptible en la ciudad de La Paz, y entiende que, de alguna manera, es provocado por las actividades humanas (Tabla 1). Sin embargo, la gran mayoría no considera que dejar de quemar combustibles fósiles serviría para detenerlo, a pesar de que es uno de los principales impulsores para la generación de GEI provocando mayor calentamiento y, por lo tanto, cambios en todos los componentes climáticos (IPCC 2014). A lo anterior se le conoce como “percepción de insignificancia”, debido a que la población no considera que su contribución con pequeñas acciones (Heras 2008), como limitar la quema de hidrocarburos, pudiera tener alguna repercusión en la mitigación del CC, aun cuando es una de las recomendaciones más relevantes para detenerlo (IPCC 2014).

Lo anterior debe ser tomado en cuenta en la política pública y por los actores involucrados en la planeación de estrategias de capacitación para la mitigación y la adaptación al CC en donde se involucra la sociedad. En ese sentido, Gvirati (2012) analizó la cantidad de información publicada sobre este fenómeno en los diferentes medios de comunicación, y resalta que, aunque nunca ha sido mayor, la conciencia del público sobre este problema crece continuamente. No obstante, aunque la cobertura ha aumentado de forma notable, todavía no supera la que pueden alcanzar otras noticias, por ejemplo, deportivas o sobre perso-

najes famosos, política, economía y crimen. Algunas encuestas muestran que la percepción pública del tema todavía es bastante pobre y la acción pública es aún menor (Gavirati 2012).

1. ¿Considera que el cambio climático está ocurriendo?	(94%) Sí (2%) No (3%) No lo sé (1%) No contestó
2. En su opinión, se entiende por cambio climático global..	(70%) Al cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. (16%) Al cambio de clima a nivel global por causas naturales que ocurren cíclicamente en el tiempo.
3. El efecto invernadero está vinculado con el calentamiento global:	(71%) Verdadero (6%) Falso (12%) No se sabe a ciencia cierta (6%) Depende de la tasa a la que ocurra el calentamiento global ( ) Depende de la latitud en la que se encuentre la zona geográfica en que esté aumentando la temperatura (5%) No contestó
4. En la región donde vive ¿cómo considera que el cambio climático está afectado la temperatura (calor/frío) y la precipitación (lluvia)?	(43%) Mayor temperatura y mayor precipitación (39%) Mayor temperatura y menor precipitación (5%) Menor temperatura y menor precipitación (3%) El clima es igual que antes (7%) No lo sé
5. Considera que si hoy dejáramos de quemar combustibles fósiles, ¿el cambio climático se detendría de inmediato?	(14%) Verdadero (63%) Falso (22%) No lo sé (1%) No contestó

Tabla 1. Conocimiento sobre el cambio climático. Fuente: elaboración propia.

También, vale la pena considerar que en la difusión de la información sobre CC el alcance es diferenciado de acuerdo con el tipo de prensa, el tiempo de transmisión, la dificultad del tema y público al que se dirige la información (Gavirati 2012), lo que ocasiona que la información que recibe el público sea insuficiente y/o confusa. Por el contrario, llama la atención que 12% de los encuestados opina que el uso de combustible para el transporte contribuye “poco” al CC (Tabla 2), ya que se ha documentado que, en México, el transporte representa la segunda fuente de emisiones de GEI, con 20.4% (Semarnat/INE 2010).

En BCS, desde el año 2000, el índice de motorización (número de vehículos de motor registrados en circulación por cada mil habitantes) ha sido el más elevado del país y esa tendencia se ha mantenido hasta años recientes (Inegi 2017). Aunado a ello, el parque vehicular de la ciudad es mayor a 10 años, obsoleto y, por lo tanto, más contaminante (Ivanova y Gámez 2012).

Asimismo, 35% de los encuestados opina que la ganadería contribuye “poco” al CC (Tabla 2), cuando existe evidencia de que la práctica de la ganadería favorece la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Gerber *et al.* 2013). Se ha determinado que el ganado contribuye con el CC al emitir GEI directamente, debido a la fermentación entérica o el estiércol o, indirectamente, por las actividades desarrolladas durante la producción de alimento y la conversión de bosques en pastizales para alimentación. Por último, cabe señalar que el sector contribuye en aproximadamente 18% del total de las emisiones de los GEI antropogénicas (Hristov *et al.* 2013, Gerber *et al.* 2013).

6. De acuerdo con su apreciación, ¿en qué medida los siguientes aspectos/elementos contribuye al cambio climático?

Aspectos/elementos	Mucho	Poco	Nada	No lo sé	No contestó
Uso de combustible para transporte	85%	12%	1%	2%	0%

6. De acuerdo con su apreciación, ¿en qué medida los siguientes aspectos/elementos contribuye al cambio climático?					
Uso de combustible para industria	90%	6%	1%	2%	1%
Deformación	85%	10%	2%	3%	0%
Residuos sólidos	49%	35%	4%	9%	3%
Uso de aerosoles	63%	29%	3%	4%	1%
Generación de electricidad	54%	31%	4%	8%	3%
Calentamiento de los océanos	60%	21%	7%	10%	2%
Ganadería	29%	35%	22%	12%	2%
Agricultura	23%	39%	24%	12%	2%

Tabla 2. Contribución de las actividades humanas al CC. Fuente: elaboración propia.

En los aspectos que se verán afectados por el CC (Tabla 3), es notable que los ciudadanos no consideren que provoque daños en la infraestructura y servicios, siendo que la ciudad de La Paz ha sufrido los embates de fenómenos meteorológicos extremos, lo que ha afectado servicios básicos como suministros de agua y electricidad. Tal fue el caso del huracán Odile, que ocasionó daños en la infraestructura de BCS y provocó desabasto de agua potable y energía eléctrica durante varios días con un costo directo de más de 24 mil millones de pesos (Gerber *et al.* 2013).

7. Por favor, clasifique el grado en que los siguientes aspectos se verán afectados por el CC en el país					
Aspectos/elementos	Mucho	Poco	Nada	No lo sé	No contestó
Pérdida de biodiversidad (plantas y animales)	89%	9%	1%	1%	
Cambio en la distribución geográfica de la biodiversidad (plantas y animales)	73%	19%	2%	5%	1%
Incremento de huracanes	74%	19%	1%	5%	1%

7. Por favor, clasifique el grado en que los siguientes aspectos se verán afectados por el CC en el país					
Aumento del nivel del mar	66%	24%	2%	7%	1%
Aumento de sequías	82%	14%	1%	3%	
Aumento de inundaciones	38%	37%	10%	13%	2%
Disminución de disponibilidad del agua	72%	17%	3%	7%	1%
Incremento de enfermedades transmitidas por mosquitos	54%	28%	6%	11%	1%
Pérdida de productividad agropecuaria	58%	25%	4%	11%	2%
Incremento de incendios forestales	65%	23%	3%	8%	1%
Daños en infraestructura y servicios	38%	37%	10%	13%	2%
Pérdida de productividad pesquera	66%	22%	3%	8%	1%
Pérdidas económicas y de vidas humanas	54%	28%	5%	12%	1%

Tabla 3. Aspectos afectados por el CC. Fuente: elaboración propia.

Llama la atención que también hubo un alto porcentaje (47%) en las respuestas en la categoría de “poco” o “nada” afectación de aumento de inundaciones (Tabla 3), ya que se tiene evidencia publicada por el Plan Estatal de Acción ante el CC para BCS (PEACC BCS) (Ivanova y Gámez 2012) donde el análisis del incremento del nivel del mar muestra que es de  $3.1 \pm 0.7$  mm/año. En el mismo plan de acción, aluden que los efectos de esta interacción a largo plazo serán de consideración, en especial para las zonas donde el índice de vulnerabilidad es alto y el periodo de retorno de los huracanes es pequeño, tales como La Paz y Los Cabos, por lo que se supone que poco más de la mitad de los ciudadanos (51%) carece de información al respecto.

En cuanto al nivel de impacto del CC, la mayoría de los ciudadanos considera que impacta de igual manera tanto en zonas rurales como urbanas y sin importar la edad, la condición socioeconómica, el grupo étnico o sexo al que se pertenezca (Tabla 4 y Tabla 5). Ciertamente, el impacto del CC tiene efecto sobre todas las poblaciones humanas, sin embargo, éste es diferencial dependiendo de ciertas características socioeconómicas.

8. En su opinión, el impacto del cambio climático será más evidente en:				
Zonas urbanas, ciudades (13%)	Zonas rurales, campo (11%)	Ambas (74%)	Ninguna (0%)	No contestó (2%)

Tabla 4. Zonas donde el CC será más evidente. Fuente: elaboración propia.

9. Cree que el CC impacta igual o de manera diferente según:				
Característica	Impacta diferente	Impacta igual	No lo sé	No contestó
Edad	29%	64%	7%	1%
Condición socioeconómica	36%	59%	4%	1%
Grupos indígenas	37%	55%	7%	1%
Sexo	8%	81%	10%	1%

Tabla 5. Impacto social del cambio climático de acuerdo con las diferentes características. Fuente: elaboración propia.

Se sabe que el impacto del CC es a nivel global, independientemente de tratarse de zona urbana o rural; no obstante, en México el porcentaje de la población afectada es mayor en las zonas urbanas ya que en el país 78% de la población vive en estas áreas (Inegi 2015). En BCS la tendencia nacional se mantiene, ya que 86% de la población habita en zonas urbanas, sobre todo en los municipios de La Paz y Los Cabos, mientras que sólo 14% vive en zonas rurales (Inegi 2015). Cabe añadir que BCS, al tratarse de un estado costero, tendrá mayor exposición a los embates climáticos

independientemente de si se trata de una zona rural o urbana (Ivanova y Gámez 2012). De acuerdo con el índice de vulnerabilidad climática de las ciudades mexicanas desarrollado por el Instituto Mexicano para la Competitividad, A. C. (2012) la edad es determinante para enfrentar el impacto del CC, ya que los niños pequeños (0-12 años) y los adultos mayores (más de 60 años) podrían tener mayores restricciones de movilidad en caso de evacuación. De igual forma, los adultos mayores pueden ser más propensos a enfermedades causadas por eventos climáticos extremos.

La población económicamente activa tendrá un mayor soporte ante eventos económicos ocasionados por los impactos del CC, y puede invertir su ingreso en acciones preventivas o correctivas (Ríos-Aguilar 2014). Asimismo, se reconoce que la condición de pobreza, roles tradicionales, pertenencia a un grupo étnico y dependencia directa de los recursos naturales colocan a las mujeres indígenas y rurales en uno de los grupos sociales con mayor desventaja para enfrentar el CC (Treulen-Seguel 2008).

Al cuestionar las acciones que ayudarían a disminuir los efectos del CC (Tabla 6), la mayoría de los entrevistados sugiere que aumentar las áreas verdes en zonas urbanas podría ser una solución. Así, la reforestación en zonas urbanas ha sido propuesta como una medida de mitigación para enfrentar dicho problema (Quiroz 2013). Específicamente para BCS y para la ciudad de La Paz, existen estrategias concretas, tales como reforestación de manglares, la prevención y reducción de riesgos a desastres o establecer programas de salud para evitar enfermedades transmitidas por mosquitos (Ivanova y Gámez 2012). Sin embargo, estas opciones obtuvieron los menores porcentajes en la encuesta, quizá porque la población desconoce el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para BCS (PEACC), por lo que también desconocen la importancia de esas recomendaciones y, mucho menos, les permite identificarlas como acciones que ayuden a disminuir los efectos del CC.

10. Anote el grado en el que las siguientes acciones podrían ayudar a disminuir los efectos del CC					
Aspectos	Mucho	Poco	Nada	No lo sé	No contestó
Sensibilizar a la población sobre cambio climático	74%	22%	2%	2%	
Incrementar la investigación y desarrollo de tecnología	70%	24%	3%	3%	
Prevención y reducción de riesgos a desastres	59%	33%	5%	3%	
Promover el uso de biofertilizantes	62%	27%	5%	5%	1%
Captación de agua de lluvia	67%	24%	3%	5%	1%
Reforestación de manglares	74%	17%	3%	5%	1%
Diversificación de cultivos	61%	26%	2%	9%	2%
Incremento de áreas verdes en zonas urbanas	81%	15%	2%	2%	
Programas de salud para evitar enfermedades diarreicas y transmitidas por mosquitos	42%	40%	11%	6%	1%
Tratamientos de aguas residuales y su re-uso	73%	19%	3%	4%	1%

Tabla 6. Acciones para disminuir los efectos del CC. Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los ciudadanos no consideró que México esté preparado para enfrentar los impactos ocasionados por el CC (Tabla 7). Los entrevistados afirman que todos los involucrados deben tener una participación muy activa, pero debería ser mayor del “gobierno federal” y los “ciudadanos” (Tabla 8). Sin embargo, opinan que el gobierno, en sus tres niveles, está atendiendo “poco”

el tema del cambio climático (Tabla 9); además, la gran mayoría dice que desconoce alguna acción de éstos mismos actores gubernamentales (Tabla 10). Sobre las acciones que realizan las organizaciones de la sociedad civil, los empresarios, las instituciones educativas o los ciudadanos sobre la atención del CC es desconocida por los encuestados (Tabla 11).

Esta tendencia resalta la falta de difusión sobre las diferentes estrategias que se han diseñado e implementado para afrontar el CC, ya que a nivel federal existe un amplio marco institucional, además de diversos instrumentos jurídicos, normativos y de política pública expedidos tales como la Ley General de Cambio Climático (2012), la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018), la Estrategia de Cambio Climático al 2050, el Programa Especial de Cambio Climático, y Normas Oficiales Mexicanas que contribuyen a la reducción de emisiones contaminantes, sólo por mencionar algunos.

11. ¿Cree usted que México está preparado para manejar los impactos derivados del CC?			
Sí (4%)	No (71%)	No lo sé/No estoy seguro (24%)	No contestó (1%)

Tabla 7. Manejo de los impactos derivados del CC. Fuente: elaboración propia.

12. En su opinión ¿qué papel deben jugar, ante el cambio climático, los siguientes actores?

Actores	Nada activo	Poco activo	Medio activo	Muy activo	No lo sé
Gobierno federal	5%	6%	7%	79%	3%
Gobiernos estatales y municipales	5%	5%	12%	75%	3%
Empresarios/industriales	6%	5%	11%	74%	4%
Organizaciones de la sociedad civil	4%	6%	21%	65%	4%
Ciudadanos	5%	4%	9%	79%	3%
Instituciones educativas	4%	4%	15%	74%	3%
Organismos internacionales	4%	5%	11%	75%	5%

Tabla 8. Papel de diferentes actores ante el CC. Fuente: elaboración propia.

13. En su opinión ¿qué tanto el gobierno está atendiendo el tema del cambio climático?

Gobierno	Mucho	Poco	Nada	No lo sé	No contestó
Federal	2%	60%	26%	11%	1%
Estatal y municipal	2%	48%	36%	11%	3%

Tabla 9. Atención del gobierno sobre CC. Fuente: elaboración propia.

14. ¿Conoce alguna acción que el gobierno está realizando actualmente para atender el tema del cambio climático?

Gobierno	Sí	No	No contestó
Federal	17%	82%	1%
Estatal	7%	91%	2%
Municipal	8%	91%	1%

Tabla 10. Acciones del gobierno ante el CC. Fuente: elaboración propia.

15. ¿Conoce alguna acción que las organizaciones de la sociedad civil, los empresarios, las instituciones educativas o los ciudadanos estén realizando para atender el CC?			
Actores	Sí	No	No contestó
Empresarios	18%	80%	2%
Organizaciones de la sociedad civil	20%	78%	2%
Instituciones educativas	28%	70%	2%
Ciudadanos	21%	74%	5%

Tabla 11. Acciones de otras instituciones ante el CC. Fuente: elaboración propia.

Para la ciudad de La Paz, se cuenta con el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de BCS (2005), con el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para BCS (2012) y con el Plan de Acción Municipal (2012); asimismo, la ciudad es parte de la iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles impulsada por el Banco Interamericano de Desarrollo.

Se ha sugerido que en el diseño de políticas públicas para luchar contra el CC es necesario que los planes sean inclusivos dada la necesidad de la participación de los actores locales (Ángeles y Gámez 2010) y no deben limitarse sólo a la consulta pública. En este sentido, cuando la ciudadanía percibe la falta de atención en cualquier nivel de gobierno, es imperante que la participación ciudadana se intensifique. Además, se ha demostrado que el éxito de muchas de las acciones públicas destinadas a luchar contra tales efectos dependerá de la organización y la participación de la ciudadanía (Moyano, Paniagua y Lafuente 2009).

La mayoría de los encuestados expresó que tiene mucho interés sobre el tema del CC (Tabla 12), pero se consideran poco informada al respecto (Tabla 13). Hasta hace aproximadamente dos décadas el CC era un problema que sólo llamaba la atención de los científicos y algunos gobiernos; no obstante, en los últimos

años la sociedad ha comenzado a interesarse y preocuparse cada vez más por este fenómeno debido a la difusión que se le ha dado por parte de los medios de comunicación (Boykoff 2009).

16. ¿Qué tanto le interesa el tema de CC?

Mucho (76%)	Poco (22%)	Nada (1%)	No contestó (1%)
-------------	------------	-----------	------------------

Tabla 12. Interés por el CC. Fuente: elaboración propia.

Se ha demostrado que las personas más preocupadas por el medio ambiente y más comprometidas en preservarlo con su comportamiento son también las que manifiestan los índices más elevados de preocupación y conocimiento sobre el CC (Moyano, Paniagua y Lafuente 2009), por lo que es importante aumentar la difusión de la información y con ello aumentar la participación ciudadana en cuanto al CC se refiere.

17. ¿Qué tan bien informado/a se siente con relación a..?

Aspectos	Muy bien informado	Bien informado	Poco informado	Nada informado	No contestó
Las causas del cambio climático	8%	35%	52%	4%	1%
Las consecuencias del cambio climático	12%	42%	40%	4%	2%
Las formas que podemos reducir los impactos del cambio climático	8%	34%	51%	5%	2%

Tabla 13. Información sobre el CC. Fuente: elaboración propia.

Los ciudadanos están abiertos a conocer diferentes aspectos del CC, pero su mayor preocupación son las acciones de adaptación y el fortalecimiento de capacidades para enfrentar los impactos (Tabla 14). Esta disposición de los ciudadanos se debe aprovechar, tanto en el diseño de políticas públicas y en las medidas de miti-

gación y adaptación, así como en su implementación, para tener comunidades resilientes ante esta problemática.

Los ciudadanos de La Paz opinaron que las redes sociales son el medio más eficiente para difundir la información sobre CC (Tabla 15). Se sabe que las redes sociales digitales representan un medio de comunicación rápido, eficiente y que permiten establecer contactos a un bajo costo, a pesar de la distancia y el tiempo (Hernández-Veleros 2015). Es por ello que éstas deberán aprovecharse para difundir de manera más rápida y en mayor cantidad información relevante.

18. ¿Qué aspectos le gustaría conocer sobre cambio climático?						
Aspectos	Me interesa	Me interesa regular	Me interesa poco	No me interesa	No lo sé	No contestó
Conceptos básicos del cambio climático	64%	21%	9%	3%	3%	0%
Escenarios del cambio climático	67%	20%	8%	2%	2%	1%
Vulnerabilidad de los ecosistemas y de la población al cambio climático	71%	16%	6%	3%	3%	1%
Acciones para mitigar las emisiones de los gases de efecto invernadero	68%	19%	7%	2%	3%	1%
Acciones para la adaptación al cambio climático	76%	16%	4%	3%	1%	0%
Fortalecimiento de capacidades para enfrentar el cambio climático	74%	14%	5%	3%	3%	1%

Tabla 14. Aspectos que quisiera conocer sobre el CC. Fuente: elaboración propia.

19. ¿Cuál de los siguientes medios serían los tres más eficientes para difundir la información sobre el CC?

Televisión (29%)	Radio (13%)	Periódico (6%)	Redes sociales (33%)	Blogs de organizaciones sociales (5%)	Páginas web del gobierno (7%)	Amigos/ familia (7%)
---------------------	----------------	-------------------	----------------------------	--	--	----------------------------

Tabla 15. Eficiencia de los medios de comunicación para informar sobre el CC. Fuente: elaboración propia.

Por último, es importante señalar que, durante este ejercicio, algunos participantes mencionaron que su opinión no se reflejaba en ninguna de las opciones de la encuesta, por lo que seleccionaron aquella respuesta más cercana a su opinión o simplemente no contestaron.

### Conclusiones y recomendaciones

La población que habita en la ciudad de La Paz, BCS, es consciente de que el CC está ocurriendo y de que se debe, en buena medida, a las actividades humanas. Sin embargo, se observó gran deficiencia para identificar los efectos que tendría este problema a nivel local, así como las acciones para enfrentar los impactos ocasionados. El desconocimiento y la falta de información precisa y clara aumenta la apatía en los ciudadanos para informarse y/o participar en los programas contra el CC, por lo que su participación todavía es limitada.

Es imperante definir estrategias de comunicación masiva que ayuden a las comunidades locales a tener la mejor información sobre el CC y sus efectos, ya que de eso dependerá el éxito en la efectividad e implementación de las acciones y políticas públicas para reducir la vulnerabilidad de la ciudad y adaptarse exitosamente al CC.

Por ejemplo, en el caso de la ciudad de La Paz, existe una gran cantidad de académicos trabajando en las instituciones de investigación y de educación superior en diversos temas relacionados

con el CC. Por ello, es indispensable establecer mecanismos de difusión a través de diferentes medios de comunicación para mantener informada a la ciudadanía. De igual manera, es imperante difundir ampliamente las políticas públicas y normatividad sobre CC entre la ciudadanía, lo que ayudará a recuperar la confianza en las instituciones y permitirá una participación ciudadana informada y eficaz.

## Referencias

- ÁNGELES, M., y Gámez A. E. 2010. "Eventos extremos, cambio climático y vulnerabilidad en México y Baja California Sur". En *Programa de investigación en cambio climático*, coordinado por G. C. Delgado, C. Gay, M. Imaz, y M. A. Martínez, 35-49. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- BOYKOFF, M. T. 2009. "Media and scientific communication: a case of climate change". *Geological Society, London, Special Publications* 305, n.º 1: 11-18.
- BRICEÑO MARTÍNEZ, J. J. 2012. "Retos para la sostenibilidad en el área metropolitana del Valle de Aburrá de Antioquia, Colombia. Percepciones acerca de lo que entendemos por este término y ejemplos de actividades educativas". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9, n.º 2: 278-293.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (Conapo). 2015. *La situación demográfica de México*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Población.
- CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (CMNUCC). 1992. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- FERNÁNDEZ-MORENO, Y. 2008. "¿Porque estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas naturales protegidas". *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad* XV, n.º 3: 179-202.

- FORERO, E. L., Hernández y C. A. Zafra. 2014. "Percepción latinoamericana de cambio climático: metodologías, herramientas y estrategias de adaptación en comunidades locales. Una revisión". *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 17, n.º 1: 73-85.
- GAVIRATI, P. M. 2012. "Periodismo local y cambio climático global análisis discursivo de la COP-15 en la prensa argentina". *Revista Razón y palabra*, n.º 79: 1-29.
- GERBER, P. J. et al. 2013. *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería-Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- GONZÁLEZ-GAUDIANO, E. y A. L. Maldonado-González. 2014. "¿Qué piensan, dicen y hacen los jóvenes universitarios sobre el cambio climático? Un estudio de representaciones sociales". *Educación en Revista*, n.º 3: 35-55.
- HERAS HERNÁNDEZ, F. 2008. "VI. Comunicar el cambio climático". En *¿En qué estamos fallando?: Cambio social para ecologizar el mundo*, coordinado por J. Riechmann, 201-238. Barcelona: Icaria.
- HERNÁNDEZ-VELEROS, Z. S. 2015. "Redes Sociales en la Educación". *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA* 4, n.º 7.
- HRISTOV, A. N. et al. 2013. "Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera—Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO<sub>2</sub>". En *Producción y Sanidad Animal*, editado por P. J. Gerber, B. Henderson y H. Makkar, 177. Roma: FAO. Documento No. 177. Roma: FAO. Documento No. 177.
- INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD. 2012. "Índice de Competitividad Urbana". <https://imco.org.mx/indices/>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (Inegi). 2015. "Encuesta intercensal 2015". <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>.

- \_\_\_\_\_. 2017. "Registros administrativos. Estadísticas económicas. Estadística de vehículos de motor registrados en circulación. Consulta interactiva de datos. Vehículos de motor registrados en circulación, Cd. México". <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb137&s=est&c=21690>.
- IPCC. 2014. "Cambio climático 2014: Informe de síntesis". En *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, editado por R. K. Pachauri y L. A. Meyer, 133-151. Ginebra: IPCC.
- IVANOVA, A. y A. E. Gámez. 2012. *Plan estatal de acción ante el cambio climático para Baja California Sur*. La Paz, México: Gobierno del estado de BCS/Semarnat.
- KINDELÁN AMORRICH, C. 2013. "Percepción, información y comunicación del cambio climático, conocimiento en estudiantes universitarios". Tesis de doctorado. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas.
- MOYANO, E., A. Paniagua y R. Lafuente. 2009. "Políticas ambientales, cambio climático y opinión pública en escenarios regionales: el caso de Andalucía". *Revista Internacional de Sociología* 67, n.º 3: 681-699.
- NOVIÓN AICÓN, C. y C. Estrada Goic. 2011. "Percepción de los efectos vivenciales del cambio climático en una muestra de habitantes urbanos australes". *Magallania* 39, n.º 1: 93-102.
- NOVO, M. 2002. "Globalización, cambio de paradigma y educación ambiental". En *Globalización, crisis ambiental y educación*, editado por M. Novo, 9-43. Madrid: Secretaría General Técnica MEC.
- OLMOS-MARTÍNEZ, E., M. E. González Ávila y M. R. Contreras Loera. 2013. "Percepción de la población frente al cambio climático en áreas naturales protegidas en Baja California Sur, México". *Polis*, n.º 35: 1-17. DOI: 10.4000/polis.9158.

- OLTRA, C., R. Solà, R. Sala, A. Prades y N. Gamero. 2009. "Cambio climático: percepciones y discursos públicos". *Prisma Social*, n.º 2: 1-23.
- PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). 2017. "INECC y PNUD invitan a participar en la Encuesta de percepción y conocimiento sobre cambio climático". Acceso el 13 de septiembre de 2017. <http://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/presscenter/articleS/2016/06/17/encuesta-de-percepci-n-y-conocimiento-sobre-cambio-clim-tico-permitir-orientar-acciones-de-adaptaci-n-en-m-xico.html>.
- QUIROZ BENÍTEZ, D. E. 2013. "Las ciudades y el cambio climático: el caso de la política climática de la Ciudad de México". *Estudios demográficos y urbanos* 28, n.º 2: 343-382.
- RETAMAL, R., J. Rojas y O. Parra. 2011. "Percepción al cambio climático y a la gestión del agua: aportes de las estrategias metodológicas cualitativas para su comprensión". *Ambiente & Sociedad* 14, n.º 1: 175-194.
- RÍOS-AGUILAR, R. C. 2014. "Evaluación de la vulnerabilidad de los estados de México al cambio climático: un enfoque no paramétrico". Tesis doctoral. UNAM.
- SALAZAR-CEBALLOS, A., N. Freyle, T. Germán y L. Álvarez-Miño. 2014. "Percepción sobre riesgo al Cambio Climático como una amenaza para la salud humana". *Revista Luna Azul*, n.º 43: 102-127.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES/INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (Semarnat/INE). 2010. *Inventario de emisiones de GEI*. México: Semarnat/INE.
- SUBIRATS, J. 1995. "Los instrumentos de las políticas, el debate público y el proceso de evaluación". *Gestión y Política Pública* 4, n.º 1: 5-23.
- TREULEN-SEGUEL, K. 2008. "Análisis sobre el impacto de los cambios climáticos en la vida de las mujeres mapuche de la región de la Araucanía, Chile". En *Mujeres indígenas y cambio climático. Perspectivas latinoamericanas*, editado por A. Ulloa, E. M. Escobar, L. M. Donato y P. Escobar, 71-82. Bogotá: UNAL/Fundación Natura de Colombia/UNODC.

## **13. El cambio climático y la percepción social. Estudio de caso: Reserva Ecológica Estatal Estero de San José del Cabo**

Elizabeth Olmos-Martínez,  
Gabriela Cruz Piñón  
y María de la Luz Robles Camacho

### **Introducción**

Uno de los retos actuales de la sociedad es el cambio climático (CC), el cual se define como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables (European Environment Agency 2004). Dicho tema ha sido analizado desde diversas ramas de estudio dentro de las ciencias sociales y las ciencias naturales, lo cual ha generado información útil para la toma de decisiones de las políticas públicas con el fin de mitigar sus efectos.

En ese sentido, al estar México comprometido con las estrategias nacionales e internacionales sobre el CC, firma diferentes convenios, crea instituciones y genera información en planes estratégicos para hacer frente al problema. Además, en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 decreta que para alcanzar un

México próspero en materia de CC, a través de su objetivo 4.4, establece la estrategia de “Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono”. También, en 2016 se publicó el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático en México (Bertoux y González 2015).

A nivel estatal, el Gobierno de Baja California Sur (BCS) presentó su Plan Estatal de Desarrollo 2015-2021 en donde manifiesta la importancia del tema del CC y en 2012 se presentó el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático (Semarnat, INE y Gobierno del Estado de Baja California Sur 2012) con el objetivo de implementar acciones de mitigación y adaptación desde una perspectiva de sostenibilidad, documento en el que se aborda un apartado especial dedicado a las áreas naturales protegidas (ANP) del estado.

Dado lo anterior, el estudio de las percepciones resulta de gran ayuda en estos casos debido a que permite situar el conocimiento de las sociedades y, a partir de ello, avanzar en la generación, reestructuración o eliminación de políticas que permitan el bien común. A través de los años se han realizado investigaciones relacionadas a la percepción que van desde el ámbito de la psicología hasta las de hoy en el ámbito ambiental (Fernández 2008), tomando éstas cada vez mayor fuerza en los estudios recientes.

El presente estudio se centra en la Reserva Ecológica Estatal del Estero de San José del Cabo (REEESJC) (Figura 1), ANP de carácter estatal que se encuentra en constante presión debido a factores antropogénicos relacionados con la actividad turística predominante en los alrededores de la zona. Aunado a ello, las consecuencias sociales, económicas y ambientales derivadas del CC posicionan al estero y su zona de influencia como un sitio vulnerable (Armenta 2015). En este contexto, el objetivo de la presente investigación es describir la percepción y conocimientos de la población asentada en la zona de influencia del Estero San José del Cabo sobre el CC.

## **Percepciones ambientales**

En el diseño de la política climática influye el modo como las personas y las organizaciones perciben los riesgos y las incertidumbres, y los tienen en cuenta (IPCC 2014). En ese sentido, las percepciones ambientales difieren de los cambios que en realidad se están suscitando en la naturaleza; sin embargo, éstas regirán el actuar de las comunidades (Fernández 2008). Esto puede entenderse, aunque la forma en que expresan sus percepciones no son necesariamente iguales, debido al desconocimiento que la población tiene respecto a los términos correctos para manifestar los cambios en el ambiente. Sin embargo, cuando estos entienden el concepto y sus implicaciones, se provoca una conciencia de cambio a favor de la conservación que va ligado a lo que observaron Douglas y Wildavsky (1982): el contexto en el que se desarrollan las personas influye en cómo perciben los riesgos, dando pie a definir sus prioridades, ya sean prioridades básicas o de menor rango.

Galimberti (2002) definió a la *percepción* como “el conjunto de funciones psicológicas que permiten al organismo adquirir información acerca del estado y los cambios de su entorno gracias a la acción de órganos especializados, como la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto”, en donde existe una discriminación de percepciones y lleva al sujeto a actuar de cierta manera. Sin embargo, el hecho de que las personas sean capaces de advertir los cambios no significa que llevarán a cabo acciones de mitigación o adaptación.

Dado lo anterior, evitar el estudio de las percepciones sería un grave error, ya que la realización de programas y planes que busquen establecer estrategias de adaptación no debiesen realizarse sin la participación de todos los involucrados (Plencovich, Costantini y Bocchicchio 2009).

Asimismo, a través de la revisión de la literatura sobre percepciones ambientales, Fernández (2008) concluyó que el estudio de éstas permite mejorar la relación entre ser humano y medio ambiente; que a su vez evidencian las decisiones de

manejo y conservación de los recursos naturales para colaborar en el diseño de políticas públicas con el fin de canalizar los procesos de deterioro ambiental. En este sentido, es necesario advertir que en México los estudios de percepción ambiental son más escasos que en otros países.

Por otro lado, Pittock (2009) clasificó las reacciones psicológicas a las que pueden optar las personas frente al CC: la nihilista, dónde es inútil hacer nada y hay que disfrutar al máximo de lo que se tiene mientras dure; la fundamentalista, que niega el problema o niega su gravedad, y la activista, la cual considera que aún se pueden hacer cambios. La identificación de estas actitudes ayudará a observar la disposición con la que cuentan las personas para involucrarse en trabajos de preservación y restauración de sus ecosistemas.

Kindelán (2013) clasificó la percepción del riesgo en dos apartados: 1) objetiva (externa y cuantificada a través de herramientas científicas y económicas) y 2) subjetiva (interna, en donde las influencias personales, los valores, un determinado punto de vista del mundo alteran la evaluación de los riesgos). Por su parte, Martínez y Suárez (2015) explica la percepción de un individuo como: 1) subjetiva (las reacciones a un mismo evento varían entre individuo); 2) selectiva (las personas seleccionan lo que desean percibir), y 3) temporal (es un fenómeno a corto plazo y conforme a las experiencias, necesidades y motivaciones ésta va cambiando).

Soares y Gutiérrez (2011) reflexionan que conocer las percepciones de los pobladores de una localidad permite entender sus intereses, demandas y necesidades, así como llevar a cabo procesos de participación social y crear programas más sostenibles, invitando a la población a tener mayor consciencia sobre la vulnerabilidad ante el CC, y los cuales permitan la búsqueda de alternativas para su disminución.

Martínez y Suárez (2015), en un estudio de percepción en Cuba, manifestaron que éste era el primer paso a futuras estrategias de gestión ambiental con las cuales se tomarían en cuenta

los problemas exclusivos de la comunidad, y se mejoraría la distribución de los recursos económicos, el nivel de vida, el desarrollo de tecnologías amigables con el ambiente y el progreso científico. El estudio arroja que quienes tienen un mayor criterio respecto a estos temas son los estudiantes y los jóvenes trabajadores.

En México, Solís y Salvatierra (2013) realizaron un estudio de percepción sociocultural en comunidades indígenas de Oaxaca y Chiapas, consideradas como áreas destinadas voluntariamente a la conservación. Se corroboró que las comunidades indígenas han oído hablar del CC y han experimentado sus consecuencias, y que responsabilizan a los seres humanos por el fenómeno, además de que este último los ha obligado a adaptarse a las nuevas situaciones. Por otro lado, se encuentra el estudio realizado por Olmos-Martínez, González y Contreras-Loera (2013) en siete ANP de jurisdicción federal en BCS. El trabajo destaca que la población es consciente de los cambios ambientales, así como de sus efectos en los ámbitos económicos y sociales, pero que se encuentran impedidos para realizar acciones por falta de información e involucramiento del gobierno o de las autoridades que administran dichos espacios.

Por último, los estudios de percepción se asocian generalmente al campo de la psicología, puesto que ésta relaciona las apreciaciones con la forma de actuar de las personas y, en este estudio, se refiere a cómo actúan ante los efectos del CC. Estas investigaciones coinciden en la modalidad de encuestas y entrevistas para la obtención de la información.

### **Materiales y métodos**

La REEESJC se localiza en el municipio de Los Cabos, en la Región Sur-Este del estado de BCS en las coordenadas 23° 05' de Latitud Norte y -109° 40' de Longitud Oeste (Gobierno del Estado de Baja California Sur 2011). Limita al oeste con la ciudad de San José del Cabo, al norte con las poblaciones de Santa Rosa y

Ánimas altas, al este limita con el poblado La Playa y al sur con el Golfo de California (Armenta 2015).

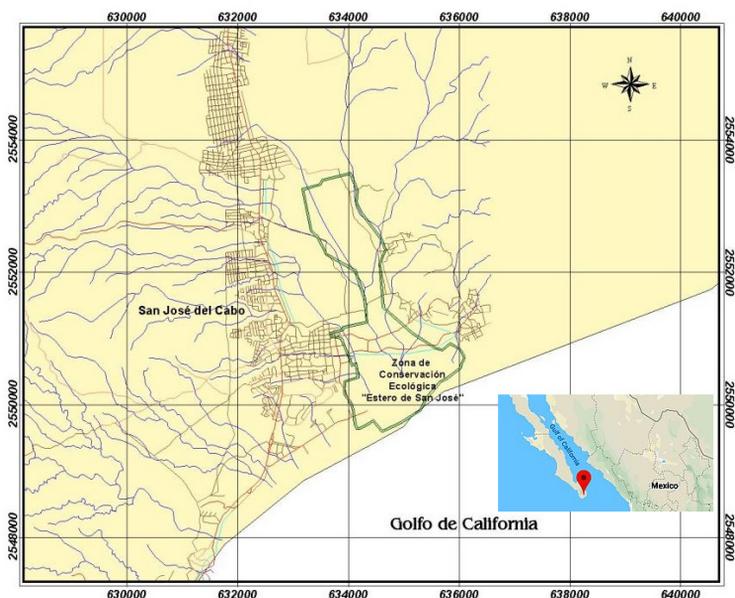


Figura 1. Localización de la Reserva Ecológica Estatal Estero San José del Cabo. Fuente: elaborado por Gabriela Cruz Piñón.

Para identificar los efectos del CC en la REEESJC a partir de la percepción de la población asentada en la zona de influencia, se trabajó en campo a partir de dos etapas: 1) durante los primeros meses del año 2016 se realizaron visitas de observación aleatorias en las localidades de San José del Cabo, Las Ánimas, La Playa y La Choya, y 2) durante septiembre y octubre del mismo año se aplicó la encuesta de percepción que consta de 20 preguntas de opción múltiple, algunas con escala Likert, acerca del conocimiento del CC, sus consecuencias, las acciones para disminuir su impacto, el papel de los actores de la sociedad, el interés de la población, las acciones del gobierno, los medios de información y otros tópicos. Es importante señalar que se tomó como instru-

mento de recolección de datos la misma encuesta diseñada y empleada, en 2015, por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en México, con la finalidad de aprovechar dicha herramienta diseñada por expertos en el país. Los criterios de inclusión que cubrieron las personas para la aplicación de la encuesta fueron tener de 18 a 60 años y que su participación fuera de manera individual y voluntaria. La captura de las encuestas se realizó en el programa *Access 2016*.

Para calcular el tamaño de la muestra se delimitó la zona de influencia de la REEESJC a 1 km de distancia del polígono. Asimismo, para conocer el total de personas asentadas se utilizó el Mapa Digital de México (<http://gaia.inegi.org.mx/>) (30 260 personas) y se calculó una muestra representativa de 335 personas con 95% de confianza.

## **Resultados**

El perfil de los encuestados muestra que 70% fueron hombres y 28%, mujeres, 2% de la muestra no respondió. La mayoría de ellos (83%) se ubica entre los 18 y 25 años.

La descripción y el análisis de la percepción de la población inician a partir de su consideración sobre si el CC está ocurriendo, para lo que 88% respondió que sí, contra 4% respondió que no y 6% no sabe si está ocurriendo. En este sentido, se puede entender que existe una conciencia colectiva acerca del problema. Esto, parecido a lo encontrado en Colombia por Pinilla *et al.* (2012), donde 89% de 487 encuestados afirmaron positivamente que el clima ha cambiado. Otro estudio realizado en Chile (Sapiains, Ugarte y Aldunce 2017) obtuvo una respuesta afirmativa, con 84% de los encuestados señalando que dicho fenómeno está ocurriendo.

Además, se les cuestionó sobre qué entendían acerca de “cambio climático global”. Al respecto, 64% de los encuestados optaron por la opción que refiere “al cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la

atmósfera mundial...”, desestimando otras opciones como causas naturales que ocurren de manera cíclica: aumento de temperatura, desertificación a nivel global y efecto de la radiación. De manera similar, los resultados de Sapiains, Ugarte y Aldunce (2017) y Pinilla *et al.* (2012) encontraron que 50% de los encuestados atribuyen que la actividad humana es la causante del CC. No obstante, Hidalgo (2015) destacó que en China 93% de la población está de acuerdo con que el CC es causado por la actividad humana y en Estados Unidos sólo lo cree 54%.

El siguiente análisis se refiere a la afirmación de que el efecto invernadero y el calentamiento global están vinculados. Al respecto, 75% la considera verdadera, mientras que 5% dice que depende de la tasa a la que ocurra el calentamiento global, 4% a la latitud en la que se encuentre la zona geográfica en que esté aumentado la temperatura y 6% opina que es falso. Finalmente, 9% afirma que no se sabe a ciencia cierta. En este punto, se percibe falta de información de la población ya que el efecto invernadero es una causa del calentamiento global, por lo que están íntimamente relacionados. Con lo anterior se asume que 29% de las personas que negaron la vinculación respondieron de manera subjetiva. Esto de acuerdo con lo investigado por Kindelán (2013). En ese sentido el IPCC (2014) publicó que la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero (GEI) son las más altas de la historia, y que los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales.

Sobre la percepción acerca de las consecuencias del CC respecto a la temperatura y la precipitación se obtuvo que 41% considera que la temperatura y precipitación han sido mayores, otro 41% considera que la temperatura ha sido mayor y la precipitación ha sido menor y 8% no sabe cómo el CC ha afectado la región en donde vive.

Ahora bien, el cuestionario incluye una afirmación muy interesante acerca de que si hoy dejáramos de quemar combustibles

el CC se detendría inmediatamente; la mayoría de los encuestados (50%) considera esta afirmación falsa, seguida de 27% que considera que es verdadera, pero causa más sorpresa que 22% de ellos no lo sabe. Esta última respuesta muestra desinformación de la población, ya que de ninguna manera el efecto desaparecería de inmediato. Al respecto, el IPCC (2014) menciona que muchos aspectos de esta problemática y los impactos asociados continuarán durante siglos, incluso si se detienen las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y que los riesgos de cambios abruptos o irreversibles aumentan a medida que se acrecienta la magnitud del calentamiento.

Sobre los aspectos/elementos que contribuyen “mucho” al CC, la mayoría de los encuestados incluyen dentro de tales el uso de combustible para el transporte (86%), el uso de combustible en la industria (82%), la deforestación (78%), el calentamiento de los océanos (54%), los residuos sólidos (50%) y el uso de aerosoles (58%). En contraste, en la categoría de “nada” afectan, se encuentra la agricultura (39%) y en “poco” afectan se encuentran la ganadería (35%) y la generación de la electricidad (43%). Sobre ello, el IPCC (2014) publicó que, en 2010, 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero fueron liberadas por el sector de la energía, 24% (emisiones netas) por la agricultura, silvicultura y otros usos de suelo, 21% por la industria, 14% por el transporte y 6.4% por los edificios. Por otro lado, para Meira-Carrea y Arto-Blanco (2014), 56% de sus encuestados (en España) dijeron que la quema de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de GEI.

Ahora bien, es importante conocer la percepción de la población respecto al grado de afectación de algunos aspectos relacionados con actividades económicas y aspectos ambientales vinculados con el CC. Sobre ello, en la categoría “mucho” los encuestados coinciden en varios aspectos tales como la afectación en la biodiversidad (84%), cambios en la distribución geográfica de la biodiversidad (70%), aumento de sequías (75%) y disminución de la disponibilidad del agua (68%). En contraste, los aspectos que

“poco” se verán afectados se reflejan en los daños en infraestructura y servicios (41%). En ese sentido, en el estudio realizado por Meira-Carrea y Arto-Blanco (2014), la principal consecuencia de esta problemática se vería reflejada a través de los efectos, como la desertificación, la aridez, la escasez de lluvias y la sequía, con 25%. En su caso, la pérdida de biodiversidad representa 3%. Lo anterior deja ver que la población que se encuentra en la zona de influencia de la REEESJC está afectada por el ecosistema natural, ya que tienen un acercamiento directo y es ícono de la ciudad, por lo que para ellos son más visibles los cambios en la pérdida de la biodiversidad, lo que refleja la diferencia entre los contextos geográficos que influyen la percepción de la sociedad, tal como lo menciona Douglas y Wildavsky (1982).

Respecto a la comparación de afectación del CC entre comunidades rurales y urbanas, 62% percibe que en ambas comunidades el impacto será evidente. Sin embargo, hay quienes dicen que será mayor en las zonas urbanas (19%) y otros tantos en zonas rurales (15%). De acuerdo con el IPCC (2014) en las zonas urbanas, las proyecciones indican que este fenómeno hará que aumenten los riesgos para las personas, los recursos, las economías y los ecosistemas, incluidos los riesgos derivados del estrés térmico, las tormentas y precipitaciones extremas, entre otros. Además, los riesgos se agravan para las personas que carecen de infraestructuras y servicios esenciales o viven en zonas expuestas. Por otro lado, se prevé que las zonas rurales se enfrenten a grandes impactos en cuanto a la disponibilidad y abastecimiento de agua, la seguridad alimentaria, la infraestructura y los ingresos agrícolas, incluidos desplazamientos de las zonas de cultivos alimentarios y no alimentarios en todo el mundo.

Ahora bien, la afectación del CC puede distinguirse sobre las personas cuando se trata de características sociales diferentes. Al respecto, la mayoría de los encuestados manifestó que los impactos de éste son iguales independientemente de la edad (61%), condición socioeconómica (60%), grupos indígenas (61%) y género

(71%). Sobre ello, Soares y Murillo-Licea (2013) mencionan que al establecer un vínculo entre el CC y las relaciones de género siempre estará mediado por el contexto ambiental, económico, sociocultural y político en los cuales se desarrolla. Además, plantean que las inequidades de género son un ámbito esencial de la vulnerabilidad y ésta es clave para la definición de la intensidad del riesgo frente al CC. Añaden que la vulnerabilidad es un concepto central para predecir y entender la existencia de impactos diferenciados en los distintos grupos de una sociedad, por cuanto las características internas de los elementos expuestos a las amenazas los hacen propensos a sufrir daños al ser impactados por éstas.

Dado lo anterior, las respuestas de los encuestados no tomaron en cuenta los factores antes mencionados, lo que los limita a la hora de interactuar para la mitigación de daños o en la búsqueda de la reducción de la vulnerabilidad social. Por último, según el IPCC (2014), la exposición y la vulnerabilidad se ven influidas por una amplia gama de procesos y factores sociales, económicos y culturales que no se han tenido debidamente en cuenta hasta la fecha, lo que dificulta las evaluaciones cuantitativas de sus tendencias futuras.

Por otro lado, la encuesta muestra algunas acciones que pueden contribuir en la disminución de los efectos del cambio climático. Sobre ello, en la categoría “mucho”, la mayoría coincide en los siguientes aspectos: incrementar las áreas verdes en zonas urbanas (78%), tratamiento de aguas residuales (70%) y reforestación de manglares (67%), entre otras. Lo que preocupa en esta parte son las personas que respondieron “nada” y “no lo sé”, ya que los actores sociales juegan un papel importante en la toma de decisiones ante el CC. En ese sentido, Sapiains, Ugarte y Aldunce (2017) encontraron respuestas similares a las presentadas en nuestro estudio, ya que su población observada muestra algunas acciones similares para hacer frente al CC, mismas que se concentran en cuidar las áreas verdes (22%) y reducir el uso de agua y energía (22%). El IPCC (2014) menciona que la eficacia de las

respuestas de adaptación y mitigación dependerá de las políticas y medidas que se apliquen en diversas escalas: internacionales, regionales, nacionales y estatales. Las políticas que apoyen en todas las escalas el desarrollo, la difusión y la transferencia de tecnología, así como el financiamiento a las respuestas al cambio climático, pueden complementar y potenciar la eficacia de las políticas que promueven de forma directa la adaptación y la mitigación. Dado lo anterior, se puede observar que la población de estudio le da menos importancia a acciones como incremento a la investigación y el desarrollo de tecnología, sensibilizar a la población sobre CC e incrementar programas de salud para la prevención de enfermedades diarreicas o transmitidas por mosquitos.

Por otro lado, se cuestionó a la población acerca de qué papel deben jugar los actores sociales. Las respuestas se concentraron en que tanto los tres niveles de gobierno (Gobierno Federal [60%], gobierno estatal/municipal [53%]), las instituciones educativas (55%), las organizaciones de la sociedad civil (53%), las empresas e industrias (60%), así como los ciudadanos (67%) deben tomar un papel “muy activo” ante estos temas. No obstante, llama la atención que en la categoría “medianamente activo” hayan clasificado a las instituciones educativas (21%) y a las organizaciones de la sociedad civil (85%).

Al respecto, se observa que los encuestados clasifican a las instituciones educativas sólo en la transmisión del conocimiento y no en la generación del conocimiento a través de la investigación, aspecto relevante para la toma de decisiones. De igual forma, Sapiains, Ugarte y Aldunce (2017) refieren al mismo cuestionamiento realizado en Santiago de Chile, donde obtuvo 68% para el gobierno y 16% a las organizaciones no gubernamentales. Esto demuestra que en ambos países se tiene la fuerte convicción de que el gobierno es el principal implicado en este tema y, por lo tanto, debe jugar el papel principal en las políticas públicas y las acciones a encaminar. Al respecto, el IPCC (2014) asegura que la cooperación internacional es decisiva para lograr

una mitigación eficaz, si bien la mitigación también puede tener co-beneficios a escala local. La adaptación se centra en los resultados a escala local a nacional, pero su eficacia puede mejorarse mediante la coordinación en todas las escalas de gobernanza, incluida la cooperación internacional.

Al mismo tiempo, 70% de los ciudadanos considera que México no cuenta con la preparación para enfrentar los impactos del CC. Sólo 6% respondió afirmativamente y 23% no está seguro. En el caso de Chile, el estudio realizado por Sapiains, Ugarte y Aldunce (2017) señala que 50% considera que están poco preparados, seguido de 45% que opinaron estar nada preparados. Esto evidencia la poca confianza que los ciudadanos tienen en su gobierno y en las acciones a emprender, lo cual podría llevar a que la población tampoco se sienta preparada o no haga nada para participar y adaptarse.

Sobre la consideración de si el gobierno está atendiendo el tema del cambio climático, en la categoría “poco” se recibieron la mayoría de las respuestas: Gobierno Federal (47%) y el gobierno de estados y municipios (39%). Aunado a lo anterior, 33% de la población considera que el Gobierno Federal está haciendo “nada” seguido de 36% que opina que los gobiernos de estados y municipios tampoco están haciendo “nada”. Relacionado a la respuesta anterior donde perciben que el gobierno atiende “poco” el tema, se cuestionó acerca de las acciones que el gobierno ha realizado. Los resultados muestran que la población no conoce acciones del Gobierno Federal (87%), estatal (91%) o municipal (91%) en atención al tema. Sólo un porcentaje bajo dice que sí conoce dichas acciones del gobierno (Federal [11%], estatal [6%] y municipal [6%]); estos últimos mencionaron la creación de la Ley General de Cambio Climático, el uso de energías renovables, la recolección de residuos sólidos, campañas de reforestación, la certificación de instituciones, el fomento del reciclaje y la reutilización de residuos sólidos. El desconocimiento por parte de los encuestados acerca de las acciones del gobierno en el tema del CC

evidencia que hace falta mucho por hacer en cuestión de involucramiento social, así como difusión de la información en medios masivos. El IPCC (2014) publica que los gobiernos de distintos niveles han comenzado a desarrollar planes y políticas de adaptación y a integrar las consideraciones del CC en planes de desarrollo más amplios. Actualmente se dispone de ejemplos de adaptación de todas las regiones del mundo.

Además, se investigó sobre el conocimiento de la población acerca de acciones para atender el CC por otras instituciones, empresas, organizaciones de la sociedad civil (OSC) y otros ciudadanos. Los resultados muestran que 81% de los encuestados dijeron no conocer acciones por parte de empresarios, 85% desconoce acciones por OSC, 78% desconoce lo que hacen las instituciones educativas y 81% no sabe lo que hacen otros ciudadanos. Quienes sí conocen acciones de empresarios (18%), OSC (12%), instituciones educativas (20%) y de otros ciudadanos (15%), destacan campañas de reforestación y ahorro de energía, talleres de separación de basura, recolección de PET, programas de reciclado, uso de energías renovables, recolección del aceite vegetal, limpieza de áreas verdes, así como la concientización del cuidado ambiental. Al respecto, Chapela *et al.* (2016) mencionan que en México el registro federal de las OSC en 2010 incluía 4 963 organizaciones de apoyo para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, la protección de la flora y fauna silvestres, la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como promoción del desarrollo sostenible (en los ámbitos regional y local) de las zonas urbanas y rurales. Adicionalmente, se encontraron OSC de apoyo para el desarrollo de los pueblos y comunidades indígenas, que elaboran esquemas de conservación comunitaria o de manejo de la agrobiodiversidad.

También existen OSC que colaboran con diversos grupos académicos, que como principales participantes han contribuido a la evolución de las instituciones y las políticas públicas y privadas, a canalizar el capital y las capacidades humanas, y al análisis de los

problemas ambientales, así como al diseño de nuevos enfoques para enfrentar dichos problemas. Aunque los alcances y las orientaciones de las distintas OSC han sido muy distintos, muchas han contribuido en mayor o menor medida a definir la agenda de conservación en el país. Dado lo anterior la mayoría de las personas encuestadas están muy distantes de dicha información, lo que limita su participación y la toma de decisiones.

Con relación al interés de los encuestados por los temas del CC, en la categoría “mucho” se encuentra 65% de los casos, seguido de “poco” con 28%. Cabe mencionar que sorprendentemente 4% de la población dijo tener “nada” de interés. Relacionado con lo anterior, se les cuestionó sobre el grado de información que tienen respecto a las causas, consecuencias y las formas de reducir los impactos de esta problemática y sólo 10, 17 y 11%, respectivamente, se consideran “muy bien” informados respecto al tema. Lo anterior ayuda a deducir que, aunque existe un interés general por el CC, no es prioridad de los ciudadanos informarse del tema, probablemente porque le prestan más atención a problemas socioeconómicos; como lo demuestra el estudio de Kindelán (2013), donde 56% de la población manifestó que el hambre es el problema mundial urgente de resolver, seguido de la emisión de CO<sub>2</sub> y la contaminación con 31%. Por otro lado, Hidalgo (2015) encontró en su estudio que el CC no es motivo de preocupación para la Unión Europea y Estados Unidos, ya que para los europeos en primer lugar se encuentra el desempleo (45%), la situación económica (24%) y la inmigración (18%). Para los estadounidenses, primero es la economía (80%), seguido del empleo (74%) y el terrorismo (73%). En contraste, en la encuesta aplicada por Sapiains, Ugarte y Aldunce (2017) en Chile, se encontró que 44% de la población manifiesta estar “bastante preocupado” respecto al tema del CC. Lo anterior demuestra que el contexto social, económico y ambiental tiene mucha influencia en la percepción, prioridades e interés hacia la información a la que se acercan los ciudadanos.

Sobre los aspectos que a la población le gustaría conocer, en la categoría “me interesa” la mayoría de las respuestas se concentraron en conceptos básicos del cambio climático (41%), en sus escenarios (44%), en la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas frente a dicho problema (48%), en acciones para mitigar las emisiones de los gases de efecto invernadero (52%), en acciones para la adaptación al CC (54%) y en el fortalecimiento de capacidades para enfrentarlo (56%). En la categoría “me interesa de manera regular”, destaca conocer conceptos básicos del fenómeno (30%) y conocer escenarios de éste (30%). Además, hubo personas que dijeron no encontrarse interesadas en ninguno de los aspectos de esta problemática (11%). De acuerdo con el IPCC (2014), para la adaptación costera se contemplan opciones que se basan en la gestión integrada de dichas zonas, en la participación de las comunidades locales, en los enfoques ecosistémicos y en la reducción de riesgos de desastre, las cuales se integran en estrategias y planes de gestión pertinentes. Dado lo anterior, la participación de la población aledaña a la REEESJC es muy importante.

Por otro lado, se solicitó a los encuestados que señalaran los medios más eficientes para difundir información sobre el CC. Los resultados muestran que éstos son la televisión (67%), las redes sociales (24%) y la radio (3%). Al respecto, en el estudio realizado en Colombia por Pinilla *et al.* (2012), 40% manifestó tener información del CC a través de la televisión, 20% de la radio y 10% de los periódicos. Asimismo, Kindelán (2013) encontró que 62% de los estudiantes universitarios obtiene información sobre el tema a través de los medios tradicionales (televisión, prensa y radio), 35% por internet y 19% a través de la universidad. También, Olmos-Martínez (2016), en su estudio sobre dicha problemática dirigido a estudiantes de BCS, encontró que los medios de información más usados para el tema son televisión (25%), centros educativos (24%), radio/televisión/periódicos (23%) y redes sociales (22%). Sin duda, a pesar de que las redes sociales se han vuelto una plataforma importante para la difusión de la informa-

ción, la televisión sigue ocupando el primer lugar para informarse, lo que hace inferir que se confía más en este medio que en otro. Por otro lado, el que las redes sociales tengan un porcentaje relativamente bajo para el acercamiento del tema del CC puede entenderse debido a que la población utiliza más ese medio para temas de entretenimiento que para documentarse o acercarse al conocimiento de algún tema.

Por último, se solicitó hacer algún comentario libre sobre el cambio climático. Entre los más destacables se menciona que las acciones que se realicen para resolver dicha problemática son de gran trabajo y que se verán reflejadas dentro de 100 años. Muchos otros comentarios fueron dirigidos hacia aspectos ambientales como, por ejemplo, que el calor ha aumentado en los últimos años, así como las enfermedades causadas por mosquitos y que el ser humano es el causante de tales efectos. Algunos otros hicieron propuestas acerca de que se disminuya la circulación de autos, que no se tire basura en cuerpos de agua, que se fomente la reforestación, así como que es necesario brindar educación ambiental en escuelas.

## **Conclusiones**

La REEESJC es un área muy importante para la población que se encuentra a sus alrededores, ya sean asentamientos humanos o locales comerciales, puesto que además de proporcionarles servicios ecosistémicos, les da identidad. Sin embargo, a pesar de tener un sentido de pertenencia con este sitio, los resultados demuestran que hay mucha desinformación sobre los beneficios que ofrece y la vulnerabilidad que representa ante los efectos del cambio climático.

La percepción de que este problema está ocurriendo es evidente para ellos. Sin embargo, no perciben de manera profunda que las acciones que llevan a cabo o que dejan de realizar contribuyen a algún nivel de vulnerabilidad. Los pobladores saben que es trabajo tanto de instituciones públicas y privadas, así como

de los ciudadanos, realizar acciones para atender los efectos del CC; pero el desconocimiento de cuáles son esas acciones por parte de los distintos niveles de gobierno, los hace excusarse de su participación. El acto mismo de contestar una encuesta sobre percepción de CC les resulta una pérdida de tiempo, les genera inseguridad o consideran que no ayudará a resolver nada.

En este sentido, el conocimiento de la percepción de la zona de influencia del Estero ha permitido corroborar que hace falta mayor difusión acerca de las acciones que realizan las instituciones gubernamentales, específicamente las que se realizan a nivel local, puesto que apenas 10% de la población está enterada de tales acciones. De igual forma, hay un desconocimiento acerca de las investigaciones sobre dicho fenómeno que las instituciones educativas están realizando, y esto evidencia la ausencia de la divulgación de los resultados ante la sociedad. Asimismo, la población en general se muestra apática entre los temas ambientales y en específico sobre el CC, tal es el caso que parece que existiera un “divorcio” entre sociedad y científicos, ya que cada uno actúa de manera independiente. Es menester mencionar también que el papel que juegan los medios de comunicación masiva es de gran importancia, ya que la difusión de sus contenidos llega a más población; no obstante, esto no quiere decir que dicha población se interese en los temas ambientales o que dichos medios informen sobre el CC.

Finalmente, como lo menciona el IPCC (2014), la toma de decisiones efectivas para limitar el cambio climático y sus efectos puede basarse en diferentes métodos analíticos para evaluar los riesgos y beneficios esperados, según se considere la importancia que tienen la gobernanza, las dimensiones éticas, la equidad, los juicios de valor, las evaluaciones económicas y las diversas percepciones y respuestas ante el riesgo y la incertidumbre.

## Referencias

- ARMENTA MARTÍNEZ, L. F. 2015. "Propuesta de Programa de Manejo para la Reserva Ecológica Estatal Estero de San José". Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- BERTOUX, L. y D. González Romero. 2015. *Vulnerabilidad y resiliencia urbana frente al cambio climático: el caso de la Zona Metropolitana de Guadalajara, México*. Santiago de Chile: Urbano.
- CHAPELA, F. et al. 2016. "Las empresas, las organizaciones de la sociedad civil y las organizaciones sociales". En *Conabio*, 99-126. Ciudad de México: Conabio.
- DOUGLAS, M. y A. B. Wildavsky. 1982. *Risk and Culture: An Essay on the Selection of Technical and Environmental Dangers*. Berkeley, CA: University of California Press.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). 2004. "Impacts of Europe's changing climate: an indicator-based assessment". *European Environment Agency Report*, n.º 2.
- FERNÁNDEZ MORENO, Y. 2008. "¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas". *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad* XV, n.º 3: 179-202.
- GALIMBERTI, U. 2002. *Diccionario de psicología*. México: Siglo XXI.
- GOBIERNO DE LA REPÚBLICA. 2013. *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. México: Gobierno de la República.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR. 2011. *Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Baja California Sur, Extraordinario*. Tomo XXXVIII, n.º 23. La Paz.
- . 2015. *Plan Estatal de Desarrollo 2015-2021*. Baja California Sur: Gobierno del Estado de Baja California Sur.
- HIDALGO GARCÍA, M. M. 2015. *Documento de análisis. Opinión pública y cambio climático*. España: Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- INEGI. 2010. "Mapa Digital de México". <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>.

- IPCC. 2014. "Cambio climático 2014: Informe de síntesis". En *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, editado por R. K. Pachauri y L. A. Meyer, 105-120. Ginebra: IPCC. [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml).
- KINDELÁN AMORRICH, C. 2013. "Percepción, información y comunicación del cambio climático. Conocimiento en estudiantes universitarios". Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- MARTÍNEZ, M. y A. M. Suárez. 2015. "Percepción ambiental de una comunidad aledaña al río Pontezuelo, Mayarí, noroeste de Cuba". *Revista Investigaciones Marinas* 35, n.º 1: 58-68.
- MEIRA-CARTEA, P. A. y M. Arto-Blanco. 2014. "Representaciones del cambio climático en estudiantes universitarios en España: aportes para la educación y la comunicación". *Educación en Revista*, n.º 3: 15-33.
- OLMOS-MARTÍNEZ, E., M. E. González Ávila y M. R. Contreras-Loera. 2013. "Percepción de la población frente al cambio climático en áreas naturales protegidas de Baja California Sur, México". *Polis, Revista Latinoamericana*, n.º 35: 1-17.
- OLMOS-MARTÍNEZ, E. 2016. "Análisis universitario sobre la percepción del cambio climático: acciones de adaptación". *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 3, n.º 2: 320-334.
- PINILLA HERRERA, M. C., J. Sánchez, A. Rueda y C. Pinzón. 2012. *Variabilidad climática y cambio climático: Percepciones y procesos de adaptación espontánea entre campesinos del centro de Santander, Colombia*. Colombia: Fundación Natura.
- PITTOCK, B. 2009. *Climate change: the science, impacts and solutions*. 2a ed. Collingwood/Londres: CSIRO/Earthscan
- PLENCOVICH, M. C., A. Costantini y A. M. Bocchicchio. 2009. *La educación agropecuaria en la Argentina. Génesis y estructura*. Buenos Aires: Ciccus.

- SAPIAINS, A. R., A. M. Ugarte Caviedes y P. Aldunce. 2017. “Los significados de la participación para el cambio climático en Chile”. *Ambiente y Desarrollo* 21, n.º 41: 43-60.
- SEMARNAT, INE y Gobierno del Estado de Baja California Sur. 2012. *Plan estatal de acción ante el cambio climático para Baja California Sur*. Baja California Sur: Semarnat/INE/Gob. Edo. BCS.
- SOARES, D. e I. Gutiérrez. 2011. “Vulnerabilidad social, institucionalidad y percepciones sobre el cambio climático: un acercamiento al municipio de San Felipe. Costa de Yucatán”. *Ciencia Ergo Sum* 18, n.º 3: 249-263.
- SOARES, D. y D. Murillo-Licea. 2013. “Gestión de riesgo de desastres, género y cambio climático. Percepciones sociales en Yucatán, México”. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 10, n.º 72: 181-199.
- SOLÍS MECALCO, R. D. J. y B. Salvatierra Izaba. 2013. “Percepción social del cambio climático en Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación en comunidades indígenas de Oaxaca y Chiapas”. *Revista Científica de Investigaciones Regionales* 35, n.º 1: 29-53.



## 14. Percepción sobre cambio climático y género en una zona costera vulnerable del sureste de México

Magdalena Lagunas-Vázquez,  
Alejandro López-Lázaro  
y Jhenifer del Carmen Hernández Occegueda

### Introducción

El cambio climático (CC) es uno de los mayores desafíos globales para los sistemas humanos y naturales (IPCC 2014). Si bien existe uno natural, adicionalmente se presenta una alteración generada por la influencia de las actividades humanas (IPCC 2014).

Debido a las características geográficas y ambientales, así como las condiciones sociales, económicas y de salud en México, la vulnerabilidad de la población y sus sectores productivos puede intensificarse ante efectos del CC (PECC 2014-2018). Para adaptarse a los eventos de este fenómeno se considera imprescindible la función local, que incluye múltiples actores, escalas, objetivos y valores (Imbach *et al.* 2015), por lo que se requiere identificar la vulnerabilidad de manera local, contextual y situada.

Las percepciones ambientales han sido abordadas desde distintas disciplinas, entre las que predominan la psicología, la antropología social y la geografía (Fernández 2008). Como lo define Fernández (2008), en el proceso de percepción interviene tanto la relación directa del ambiente (a través de los sentidos del gusto,

tacto, vista, oído y olfato), como la experiencia directa e indirecta de personas que pertenecen a un grupo social determinado por un contexto social y cultural específico, es decir, contextual. Contemplar estos elementos físicos, ecológicos y sociales en un análisis contribuye a una mayor comprensión e integración de información de un sistema socioambiental. Además, se ha considerado que la relación existente entre el ser humano y su ambiente es en gran parte el reflejo de sus percepciones ambientales (Lefebvre 1991). Sin embargo, las diferencias de género no se han considerado plenamente en los programas y políticas climáticas tanto globales como nacionales (Ulloa *et al.* 2008).

Ahora bien, no existe ninguna realidad que sea neutra en cuanto al género (Roehr 2007). Esto incluye tanto las circunstancias, como los intereses de las mujeres y hombres respecto a la naturaleza y a todas las interrelaciones con sus entornos naturales inmediatos (Soares, Castoreña y Ruiz 2005; Aguilar 2007; Roehr 2007; Lagunas-Vázquez *et al.* 2015). Desde el análisis crítico feminista acerca de los discursos ambientales, específicamente sobre el CC y su aplicación en los programas y políticas, se considera que la perspectiva de género en la discusión sobre este tema es clave para analizar las exclusiones y ausencias de mujeres en la proyección de políticas (Ulloa *et al.* 2008).

También el enfoque de género permite entender a qué maneras de producir conocimientos responden las políticas globales de CC y qué relaciones, circulaciones, localizaciones y representaciones específicas privilegian (Ulloa 2014). Además, las políticas públicas deben ser delineadas de modo que eliminen o disminuyan las desigualdades y aumente la justicia ambiental y climática (Ulloa 2014). Así, el objetivo principal de la presente investigación es identificar la percepción ante esta problemática con perspectiva de género en una zona costera vulnerable en Tabasco. Uno de los motivos principales es generar información que permita incrementar la resiliencia y adaptación de las personas de la zona donde se implementó el estudio.

Las localidades en estudio se ubican en un municipio de Tabasco reconocido como de alta vulnerabilidad costera ante el cambio climático (INECC 2013). Además, esta zona no ha pasado desapercibida para la política climática nacional y el área ha sido estudiada como sitio piloto para la identificación local de la vulnerabilidad ante CC, aportando importantes estrategias para mitigar los efectos adversos de éste en el lugar. Sin embargo, no se había hecho un trabajo como el presente, un estudio local de percepción desde los propios habitantes de las localidades asentadas en la barra adyacentes a la Laguna (sistema lagunar) y a la franja costera, con perspectiva de género.

### **Área de estudio**

Las localidades donde se aplicaron las entrevistas se encuentran dispersas a lo largo de la costa, siendo Coronel Andrés Sánchez Magallanes la localidad más urbanizada con una población de 6 913 (cifra poblacional que no fue tomada en cuenta para la formulación del tamaño de muestra; debido a que originalmente fueron confundidas las dos localidades con nombres similares); Pedro Sánchez Magallanes, con 996 habitantes; Sinaloa 2a Sección, con 612 habitantes; Sinaloa 1a Sección, con 581 habitantes, y el Chocho, con 191 habitantes (Inegi 2010a). Todas las localidades están en el municipio de Cárdenas, Tabasco. Dicha localidad se ubica en la región de la Chontalpa, y tiene como cabecera municipal a la ciudad de Cárdenas, que se ubica en los paralelos 17°59' latitud norte y 91°32' de longitud oeste. La extensión territorial del municipio es de 2 049.24 km<sup>2</sup>, los cuales corresponden a 8.63% respecto al total del estado y ocupa el 5° lugar en la escala de extensión municipal.

### **Proceso metodológico**

Para el análisis de la percepción social sobre cambio climático se utilizó la siguiente herramienta sociológica de corte cualitativo: entrevistas semiestructuradas (Taylor y Bogdan 1987), de las cua-

les se aplicaron 210 a habitantes de las localidades seleccionadas y quienes fueran mayores de cinco años. El presente análisis de percepción tiene características de ser un análisis intergeneracional y con perspectiva de género. Para llevarlo a cabo se hicieron dos salidas de campo, la primera fue un reconocimiento de la zona y contacto con personas y actores locales de interés para la implementación del proceso metodológico (durante julio de 2018), y la segunda fue para la aplicación de las entrevistas y el trabajo etnográfico (participaron seis personas encuestadoras en campo), mismo que se desarrolló entre el 18 y el 22 de septiembre de 2018. Las personas entrevistadas de las localidades en estudio fueron sometidas a un muestreo probabilístico o aleatorio (Vallejo 2012), de una población finita de aproximadamente 2 090 personas (tomando los datos de Inegi 2010b).

El muestreo se estratificó en el sentido de que se trató de entrevistar a una cantidad proporcional de hombres, como de mujeres, así como de diferentes edades en todas las localidades participantes. Se identificó la población registrada en el Censo de población y vivienda (Inegi 2010b) y, en este sentido, las localidades sujetas a entrevistar presentaban una subpoblación aproximada en total de 2 090 habitantes mayores de cinco años. Para determinar el tamaño de muestra se establecieron las siguientes condiciones estadísticas, en referencia a las características del tipo de muestreo que se planteó hacer: la población sujeta a entrevistar, los recursos humanos y el tiempo con el que se contaba para desarrollar la investigación. Con ello, se registró un margen de error de 7%, un nivel de confianza de 95% y una distribución de respuesta de 50%. El número de muestra que nos indicó la fórmula aplicada fue de 206 entrevistas, sin embargo, al final se aplicaron 210 entrevistas.

### **La perspectiva de género en la percepción ante el cambio climático**

Los estudios que utilizan la categoría de género como parte de su análisis visibilizan y problematizan la condición de las mu-

jeros y su posición con respecto a la de los hombres y viceversa, con el fin de detectar los factores de desigualdad que afectan a ambos en los diferentes ámbitos socioculturales (Rojas 2009). Además, son una herramienta analítica cuya característica principal es el trabajo transversal entre las distintas disciplinas de las ciencias sociales que permite al objeto de estudio ser analizado desde una perspectiva amplia, completa e integradora para evidenciar, sensibilizar, proponer y hacer evolucionar los elementos culturales que determinan los problemas de discriminación, particularmente hacia la mujer (De la Madrid 2015). Es importante señalar que las diferencias de género no se han considerado plenamente en los programas y políticas climáticas, tanto globales como nacionales (Ulloa *et al.* 2008).

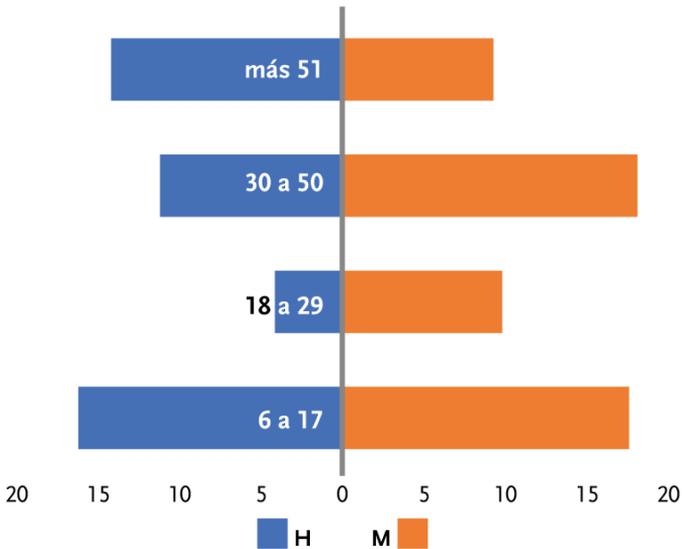
De acuerdo con Roehr (2007) no existe realidad alguna que sea neutra en cuanto al género. Entre las diferencias, tanto en las circunstancias, como los intereses e interacciones de las mujeres y hombres con la naturaleza y sus entornos naturales inmediatos (Soares, Castoreña y Ruiz 2005; Aguilar 2007; Roehr 2007; Lagunas-Vázquez *et al.* 2015), se incluyen diferencias en cuanto al acceso, uso y control de los beneficios derivados de las misma, así como diferencias en el conocimiento que poseen respecto a la naturaleza y sus recursos (Aguilar 2007).

Además, se han documentado diferencias de percepciones por género sobre el cambio climático y las posibilidades políticas de reaccionar ante él (Roehr 2007; Aguilar *et al.* 2008). Esto porque las mujeres y los hombres evalúan el riesgo de diferente manera (Ulloa 2016). En este sentido, algunos estudios sugieren que las mujeres tienen una información limitada sobre las políticas de esta problemática y sobre la protección del clima (Aguilar 2007; Roehr 2007). Por las razones antes mencionadas se consideró importante utilizar la perspectiva de género en el presente análisis.

## **Resultados**

Las 210 entrevistas realizadas en las cuatro localidades adyacentes al Sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, se distribuyeron de la siguiente manera: en Sánchez Magallanes, 92 entrevistas (40 hombres y 52 mujeres); en Sinaloa 1a Sección, 62 (25 hombres y 37 mujeres); en Sinaloa 2a Sección, 42 (22 hombres y 20 mujeres), y en el Chocho, 14 (8 hombres y 6 mujeres). En total se entrevistaron 95 hombres y 115 mujeres.

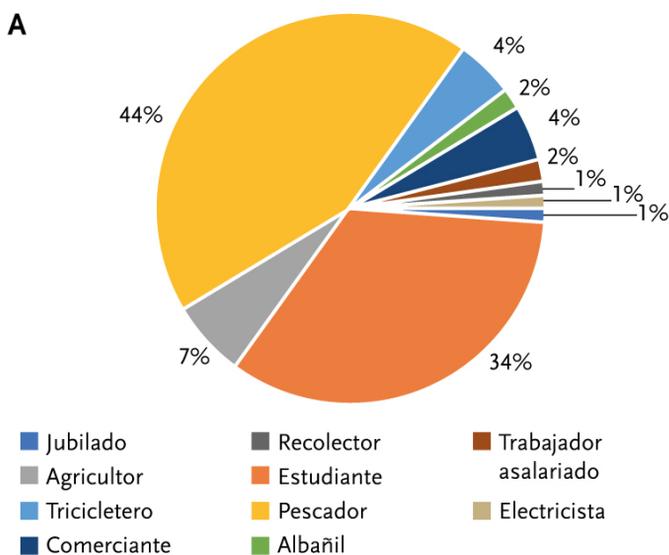
De las 115 mujeres, la niña más pequeña entrevistada tenía 10 años, mientras que la mujer de mayor edad, 83; la edad modal era de 14 y la edad promedio de 31 años. Las mujeres casadas eran 69 y las 46 restantes eran solteras. De las mujeres entrevistadas, 98% nació en Tabasco, es decir, son prácticamente originarias de la zona. De los 95 hombres, el niño más pequeño entrevistado tenía 8 años; el hombre de mayor edad, 83; la edad modal fue de 14 años y la edad promedio, 35. El estado civil de los hombres entrevistados fue: 54 casados y 44 solteros. De estos hombres, 79% nació en Tabasco. Para el análisis de los resultados se disgregaron en cuatro grupos de edades en los siguientes rangos: de 6 a 17 años, de 18 a 29, de 30 a 50 y más de 50 años.



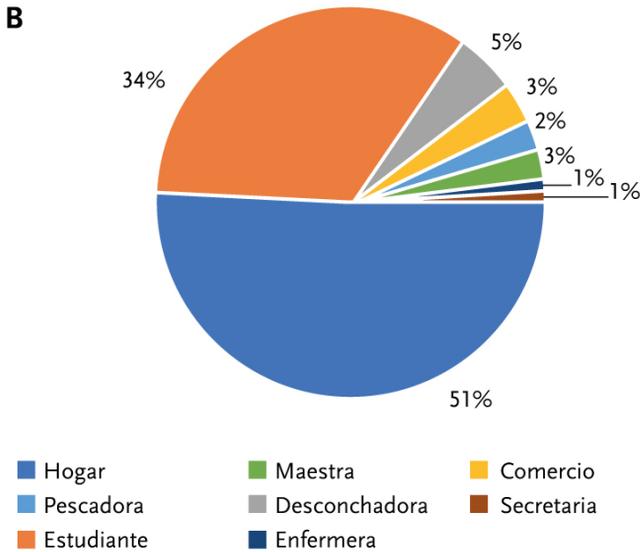
Gráfica 1. Grupo de edades y su representación en porcentaje de las personas entrevistadas (H: hombres, M: mujeres). Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las entrevistas.

Entre los principales socio-ecosistemas presentes y utilizados por los habitantes costeros en la región de la barra costera, y adyacente a la laguna destacan: *a)* la zona marino-costera, *b)* el cuerpo de agua que comprende la laguna para pesca en general, *c)* el ecosistema de manglar, *d)* la columna de agua como productora ostrícola, *e)* el sustrato acuático y de humedal como receptor/fijador de larvas de ostión, *f)* el suelo que es utilizado para actividades agropecuarias (ganadería a baja escala y de autoconsumo), *g)* las plantaciones de coco y *h)* los huertos de traspatio que en algunas casas están muy desarrollados. Esta diversidad socio-ecosistémica les da una gran heterogeneidad a los usos y al manejo que los habitantes locales hacen de la biodiversidad y, en general, de la naturaleza circundante.

Las actividades sociales y económicas por género de las personas del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona son muy diversas; las mujeres de la laguna se reconocen realizando ocho actividades principales, de entre las cuales sobresalen: estudiantes y amas de casa (Gráfica 2). Las principales actividades sociales y económicas que desarrollan los hombres de las localidades son 10; la principal actividad social de los hombres entrevistados fue estudiantes; la principal actividad económica está dentro del sector primario y tienen que ver con pesca y agricultura (Gráfica 2).

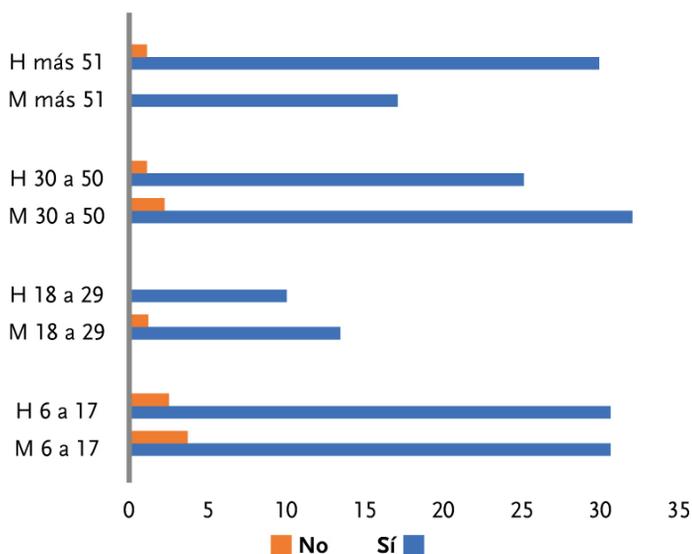


Gráfica 2A. Actividades sociales y económicas, que desarrollan los hombres del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona. Fuente: elaboración propia.



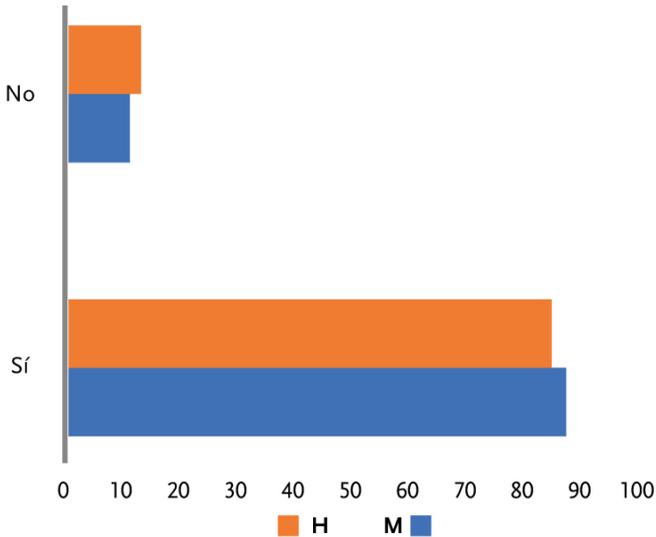
Gráfica 2B. Actividades sociales y económicas, que desarrollan las mujeres del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona. Fuente: elaboración propia.

Entre los principales resultados se observa que más de 80% de las personas entrevistadas nació en la zona; la población adulta mayor tiene más de 50 años viviendo ahí; más de 90% perciben que los recursos naturales han cambiado respecto al tiempo (Gráfica 3) y, en general, éstos han disminuido. Esta modificación de los recursos naturales la relacionan con un cambio del paisaje local y de todos los ecosistemas que lo componen. Este dato es importante porque puede indicar que muchas de las personas que participaron en el presente estudio han vivido varias décadas en el lugar, por lo que han tenido la oportunidad de apreciar a través del tiempo los cambios que se han sucedido en donde viven.

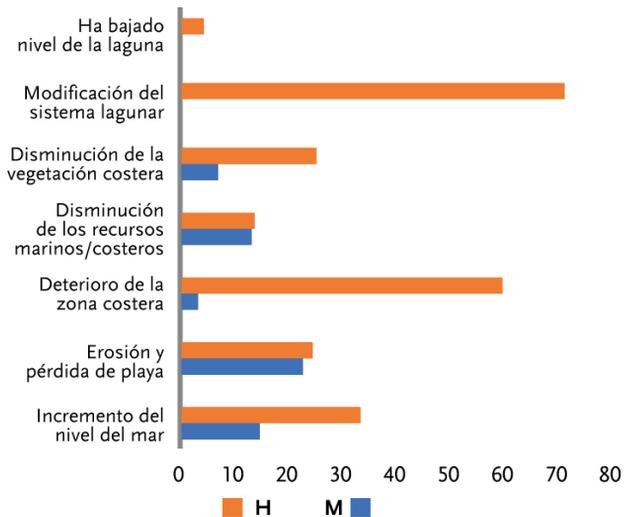


Gráfica 3. Porcentaje de respuestas de los hombres (H) y mujeres (M) sobre percepción de modificación en los recursos naturales a través del tiempo. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las entrevistas.

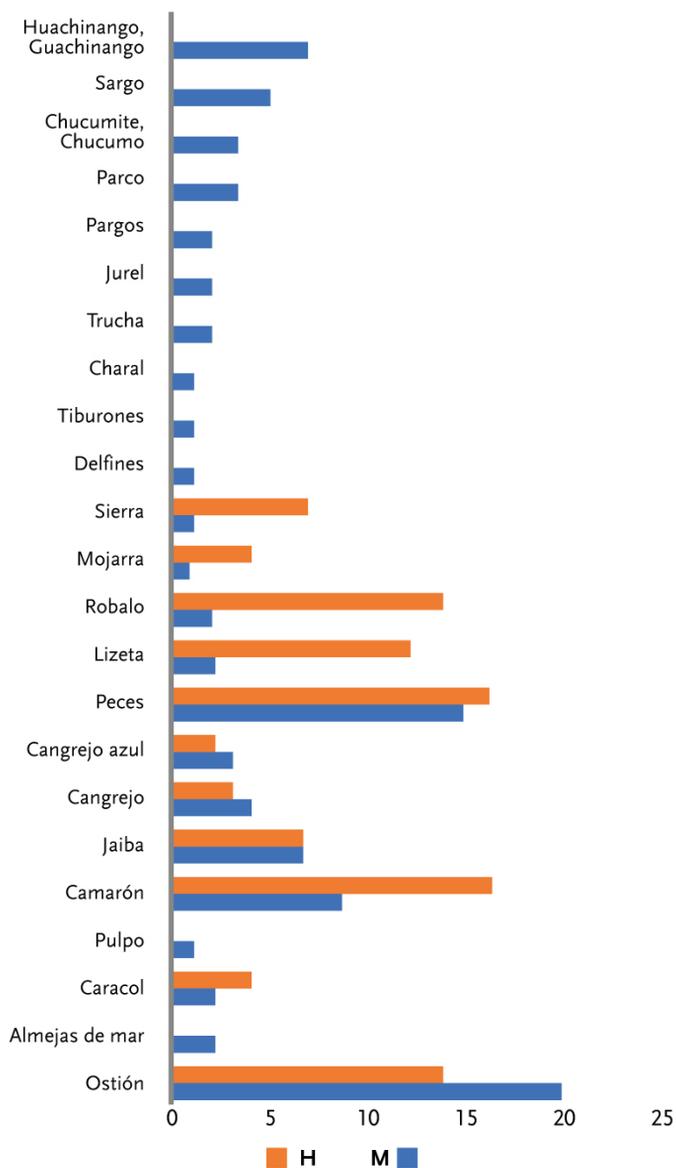
En la percepción de 85% de los pobladores locales sí se han notado cambios en el paisaje local a través del tiempo (Gráfica 4). Los cambios más observados tienen que ver con el entorno costero, y éstos son: incremento del nivel del mar, erosión de la costa (pérdida de playa) y disminución de la vegetación costera, disminución de los recursos costeros en general. En particular, los hombres entrevistados mencionaron la modificación del sistema lagunar, entre ellos: deterioro de la laguna, baja producción ostrícola, que la laguna ha bajado su nivel y que hay menos recursos en general (Gráfica 5).



Gráfica 4. Porcentaje de habitantes locales por género que perciben modificación del paisaje. Fuente: elaboración propia.



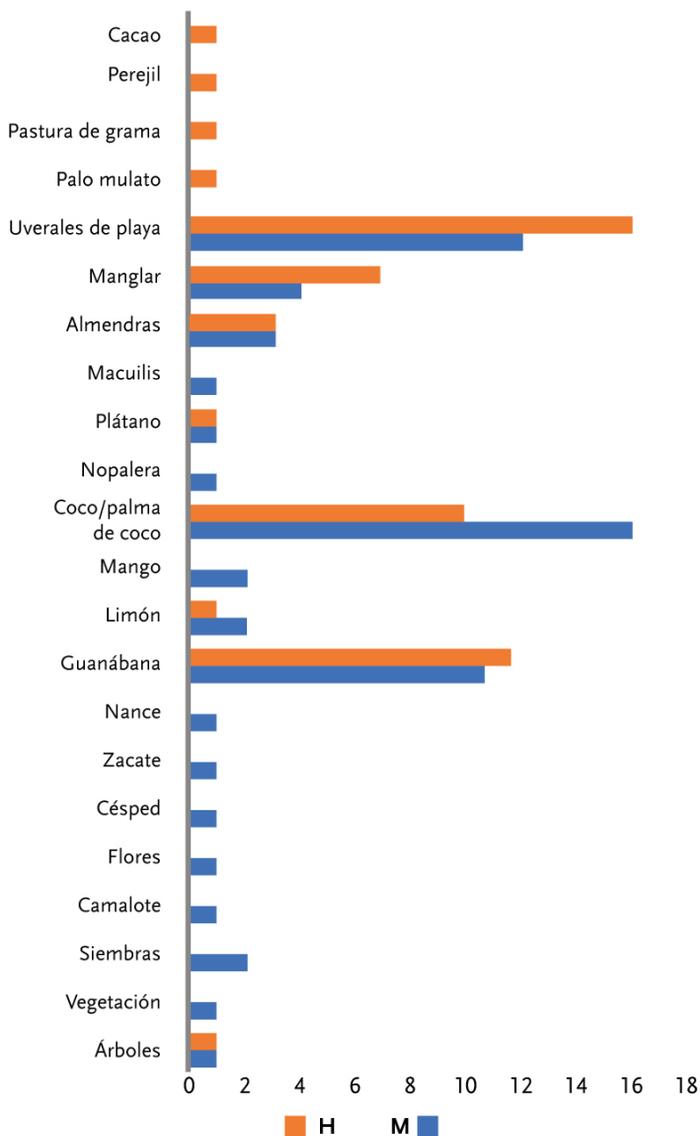
Gráfica 5. Cambios más observados por género en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona (H: hombres, M: mujeres). Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las entrevistas.



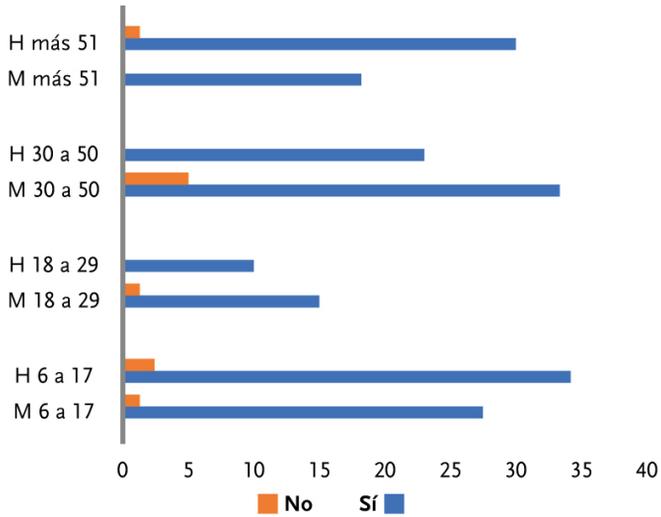
Gráfica 6. Especies marinas mencionadas por hombres y mujeres (H: hombres, M: mujeres). Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las entrevistas.

Respecto a la percepción sobre la biodiversidad local, tanto hombres como mujeres refirieron la disminución de las especies, y la poca producción y extracción de éstas. Las 23 especies animales que mencionaron son básicamente las especies de utilidad pesquera: sierra, mojarra, robalo, cangrejo, jaiba, camarón, caracol y ostión. Ellas mencionaron 11 y ellos 23 especies (Gráfica 6). Respecto a la vegetación, ellas mencionan 18 especies; ellos reconocen 12 especies (Gráfica 7). Esta información nos remite a los espacios socioculturales donde cada género tiene más acceso.

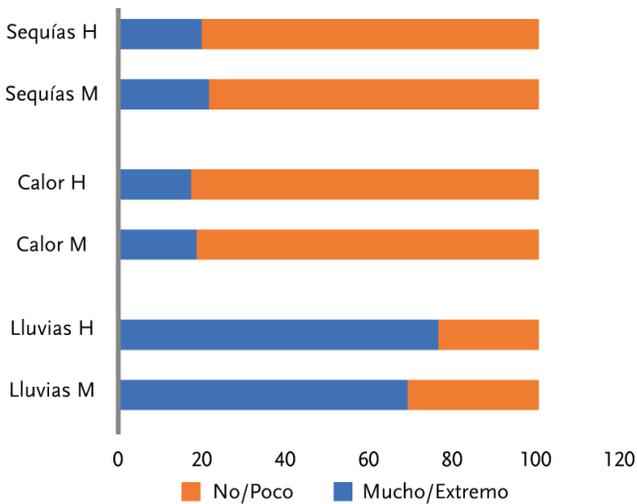
La percepción respecto a cambios en las variables climáticas, tanto de los hombres como de las mujeres, fue muy similar (Gráfica 8). En general sus respuestas fueron las siguientes (Gráfica 9): las sequías son extremas, el calor (temperatura) se siente mucho más que antes y las lluvias son escasas o ninguna. Los huracanes prácticamente no existen y son pocos los vientos que se presentan. La percepción generalizada para los habitantes de la laguna es que el CC es básicamente un aumento de calor, y una sensación de sequía.



Gráfica 7. Especies vegetales mencionadas por hombres y mujeres (H: hombres, M: mujeres). Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las entrevistas.



Gráfica 8. Porcentaje de respuestas de los hombres (H) y las mujeres (M) sobre si han percibido cambio climático. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las entrevistas.



Gráfica 9. Percepción sobre el cambio de variables climáticas respecto al tiempo por parte de los hombres (H) y mujeres (M). Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las entrevistas.

## Conclusiones

En la percepción de los pobladores locales sobre la modificación en el paisaje los cambios más observados tienen que ver con el entorno costero y éstos son: incremento del nivel del mar, erosión de la costa (pérdida de playa), disminución de la vegetación costera y disminución de los recursos costeros. En particular, los hombres mencionaron la modificación del sistema lagunar (deterioro de la laguna, baja producción ostrícola, ha bajado el nivel de la laguna y hay menos recursos en general). Los cambios en la biodiversidad local la consideran desde la perspectiva productiva, por ejemplo, han disminuido las especies, así como la producción y extracción de éstas.

Respecto a la percepción sobre la biodiversidad local, los resultados observados remiten a los espacios socioculturales donde cada género tiene más acceso. De esta manera, las mujeres reconocen más especies de vegetación terrestre y costera; mientras que los hombres mencionan más del doble de especies de animales marinos que ellas, entorno al que ellos tienen más acceso, uso y manejo.

Más de 95% de las personas entrevistadas percibe el cambio climático asociado a las variables climáticas que identifican: calor extremo y sequía intensa, así como una distorsión en las estaciones (éstas ya no son predecibles, ya no las notan). En este aspecto no hubo una diferencia de género en la percepción, como sí la hubo al tratar los cambios en el paisaje local, los recursos naturales y la biodiversidad a través del tiempo.

Es importante conocer y analizar la información sobre percepción ante cambio climático con perspectiva de género. Además, al implementar las políticas climáticas no se puede ignorar a más de la mitad de la población y considerar que los aspectos de género mejoran las medidas y programas (Roehr 2007). Los datos que existen hasta ahora, respecto a esta problemática que toman en cuenta las diferencias entre los sexos, indican que las prioridades de las mujeres en relación con la protección del clima pueden ser diferentes a las de los hombres. Además, existen algunos traba-

jos que evidencian la necesidad de la perspectiva de género en la discusión sobre cambio climático (Roehr 2007, Skinner 2011).

### **Agradecimientos**

A todas las personas de las localidades donde se aplicaron las entrevistas que nos ofrecieron su información, su tiempo y espacios, y su amabilidad. Muchas gracias a las instituciones locales de las Villas de la barra de Sánchez Magallanes, la Telesecundaria de Sinaloa 2a Sección y la Secundaria de Sánchez. Con mucha gratitud a las siguientes personas por el apoyo brindado en campo en todas las localidades en estudio: Sury J. Rivera Servín, Keyla Hernández López, Ernesto García Pérez, así como a Isaí Hernández López, representante de las Cooperativas Ostrícolas de Sánchez Magallanes. Al Proyecto 293354 del Laboratorio de Resiliencia Costera LANRESC del Programa de Laboratorios Nacionales Conacyt. Al Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad (CCGS) por las facilidades para la realización de este trabajo. Al programa Cátedras Conacyt y al proyecto Cátedras-CCGS número 945 Vulnerabilidad socioambiental y medidas de adaptación al cambio climático en el sureste mexicano.

### **Referencias**

- AGUILAR, L. 2007. “¿Por qué las mujeres están ausentes en el manejo y la conservación de la biodiversidad?”. [https://ecodes.org/archivo/proyectos/archivo-ecodes/pages/especial/mujeres\\_malorena\\_aguilar.html](https://ecodes.org/archivo/proyectos/archivo-ecodes/pages/especial/mujeres_malorena_aguilar.html).
- AGUILAR, L., A. Araujo, E. Kring, A. Quesada y P. Zuñiga. 2008. *Guía: Recursos de género para el cambio climático*. México: PNUD.
- DE LA MADRID, L. R. 2015. *Género y literatura: hacia una perspectiva otra del derecho*. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM. <https://somee.org.mx/rmestudiosselectorales/index.php/RMEstudiosElectorales/article/view/181/pdf>.

- FERNÁNDEZ, M. Y. 2008. “¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas”. *Estudios sobre Espiral Estado y Sociedad* XV, n.º 43: 179-210. <https://www.redalyc.org/pdf/138/13804306.pdf>.
- IMBACH, A. C., C. Bouroncle, A. Díaz, A. Zamora, O. Urueña, O. Aragón, P. Colque, B. L. Rosales, P. Prado, E. Girón, P. Imbach y C. Medellín. 2015. *La construcción de estrategias locales de adaptación al cambio climático: una propuesta desde el enfoque de medios de vida*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Escuela de Posgrado y División de Investigación y Desarrollo, Turrialba.
- INECC. 2013. “Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México”. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-en-los-municipios-de-mexico>.
- INEGI. 2010a. “Catálogo de localidades, México”. <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?buscar=1&tipo=nombre&campo=loc&valor=sinaloa%201>.
- . 2010b. “Censo de población y vivienda 2010”. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?T=0200001000000000&A-G=27002#D0200001000200000>.
- IPCC. 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*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- LAGUNAS-VÁZQUES, M., A. G. Sosa y Silva, L. F. Beltrán-Morales y A. Ortega-Rubio. 2015. “La perspectiva de género en los estudios sociales en las ANP de nuestro país: Una propuesta conceptual y metodológica”. En *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*, editado A. Ortega-Rubio, M. J. Pinkus-Rendón e I. C. Espitia-Moreno, 211-248. México. CIBNOR/Universidad Autónoma de Yucatán/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- LEFEBVRE, H. 1991. *The production of space*. Cambridge: Blackwell.
- PECC. 2014-2018. “Programa Especial de Cambio Climático. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República Mexicana”. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314957/Avance\\_y\\_Resultados\\_PECC\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314957/Avance_y_Resultados_PECC_2017.pdf).
- ROEHR, U. 2007. *Género, medio ambiente, sostenibilidad. Un largo camino hacia una sociedad con equidad de género*. Archivos ECODES. [http://ecodes.org/archivo/proyectos/archivoecodes/pages/especial/mujeres\\_ma/Ulrike\\_Roehr\\_esp.html](http://ecodes.org/archivo/proyectos/archivoecodes/pages/especial/mujeres_ma/Ulrike_Roehr_esp.html).
- ROJAS BLANCO, C. E. 2009. “La perspectiva de género: noema y nóesis de la epistemología feminista”. *Nósis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades* 18: 17-33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85916757004>.
- SKINNER, E. 2011. *Gender and climate change*. Londres: Institute of Development Studies.
- SOARES, D., L. Castoreña y E. Ruiz. 2005. “Mujeres y hombres que aman el mar y en el desierto: Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, BCS”. *Frontera Norte* 17, n.º 34: 67-102. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73722005000200003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722005000200003).
- TAYLOR, S. J. y R. Bogdan. 1987. *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* (Vol. 1). Barcelona: Paidós.

- ULLOA, A. 2014. “Escenarios de creación, extracción, apropiación y globalización de las naturalezas: emergencia de desigualdades socioambientales”. En *Desigualdades socioambientales en América Latina*, 139-165. Colombia: Universidad Nacional de Colombia/Ibero-Amerikanisches Institut.
- \_\_\_\_\_. 2016. “Justicia climática y mujeres indígenas en América Latina”. *LasaForum* 42, n.º 4: 12-16. <https://forum.lasaweb.org/files/vol47-issue4/Debates2.pdf>.
- ULLOA, A., E. M. Escobar, L. M. Donato y P. Escobar. 2008. *Mujeres indígenas y cambio climático. Perspectivas latinoamericanas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia/Fundación Natura, Naciones Unidas.
- VALLEJO, P. M. 2012. “Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos?”. *Estadística aplicada* 24, n.º 1: 22-39.

# ARTE Y CAMBIO CLIMÁTICO



## **15. Cambio climático y resiliencia artística en México comparada con otros países**

María Teresa Solís Hernández

La adaptación y la mitigación son las dos respuestas principales al cambio climático, y constituyen dos caras de la misma moneda: la mitigación se ocupa de las causas del cambio climático, y la adaptación aborda sus impactos. En este sentido, se identifica que la comunidad de artistas en el mundo, dependiendo del estatus económico de los países a los que pertenecen y las razones por las que se insertan en la expresión de cambio climático a través de su quehacer, tienen un distinto nivel de profundidad y desarrollo de conocimiento en el tema, así como formas múltiples de acción colectiva, pues también la necesidad de expresarse se traduce de diversas maneras en función de la cultura a la que se pertenece.

El capital cultural y educativo en los artistas se hace presente en lo que plasman. Hay expresiones muy abstractas, otras apoyadas directamente en la ciencia y la tecnología, otras innovadoras en su simbolismo, algunas textuales y muchas otras con carácter didáctico en diversos niveles; pocas son radicalmente innovadoras, pero las hay. La mayoría de los creadores se acercan a dar salidas, respuestas, sugerencias y tesis con relación a la adaptación, mientras que la mitigación es un tema que está menos abordado.

Los creadores que se ocupan del cambio climático como eje temático asumen sus obras como mensajeras, sensibilizadoras de la conciencia social o, en algunos casos, como dispositivos emocionales que podrían ser impulsores: “en los procesos emancipatorios la comunidad pasa de herencia y estrategia intuitiva de sobrevivencia al eje consciente de la organización y construcción societal [...] Es decir, va creando nuevas relaciones políticas y nuevos imaginarios, que son a la vez un modo de subvertir socavando las relaciones de poder” (Ceceña 2008, 68). Según nuestra apreciación, resultan poquísimas obras de arte que podrían fungir como transgresoras.

Destaca la conexión de los creadores con la vida académica y científica. De hecho, hay un puente muy interesante de retroalimentación entre científicos-académicos y artistas, que se gesta en congresos y exposiciones que tienen como temática central el cambio climático como lo son las Conferencias de Cambio Climático (la COP24 hasta 2018) organizadas a nivel mundial por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2001), y en gran medida de forma virtual por la web. Se podría identificar a este puente temático de convergencia como *una construcción social que provoca la imaginación hacia la transición de sociedades sostenibles*. En ella la idea de *sostenible* se transparenta en la práctica como un verbo que lleva consigo la *resiliencia social*, *el verbo que sostiene al mundo*; y *sostenible* en el contexto económico relacionado con el bien común, que “se refiere en general al bien(estar) de todos los miembros de una comunidad y también al interés público, en contraposición al bien privado e interés particular; también puede definirse como el fin general o como los objetivos y valores en común, para cuya realización las personas se unen en una comunidad” (Schultze 2014, 157). Por su parte, la resiliencia también implica resistencia, renovación y, por tanto, un desafío libertario que implica emancipar el pensamiento.

El cambio climático en México encuentra la respuesta artística mayormente en su interpretación pictórica, audiovisual, digital

y fílmica, y con ello se ubica en el contexto mundial; en cambio, artistas de otros países como, por ejemplo, la comunidad que participa en las Conferencias de Cambio Climático de la ONU, son en su mayoría europeos, norteamericanos, algunos asiáticos, y pocos africanos y latinoamericanos. Los primeros se expresan mediante la escultura, la arquitectura, la danza, la música y las instalaciones, entre otras manifestaciones. Así, el sector creativo como fuente de pensamiento no convencional ofrece oportunidades prometedoras para aprovechar la imaginación cívica, y generar cohesión y resiliencia social en la era *Antropocena*, para frenar los efectos del cambio climático, una de las mayores amenazas de nuestro tiempo.

El paisaje de esta narración en su acercamiento comparativo es actual, y se delimita con ejemplos relevantes, porque desde luego hay muchas más expresiones, y es imposible abarcar todas en tan breve espacio. También se enuncia como aviso referencial que la semilla de estas manifestaciones en el arte se puede considerar desde 1970, sólo que con relación a la preservación de la naturaleza y la biodiversidad, o en general referida a la salud del planeta. Es hasta 1992, con la Cumbre de la Tierra, cuando tuvo lugar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), en que hay un reenfoque ya específico hacia el problema. Desde entonces a la fecha se desarrollan políticas públicas para frenar el cambio climático, que repercuten en lo científico, lo social, lo artístico, y, de nacer como un tema abstracto y en la cúspide social, comienza a expandirse y trasminarse al grueso de la población, a través de la difusión de los medios de comunicación masivos y electrónicos, externando “qué es el cambio climático”, y así, poco a poco, a tocar la conciencia social de forma local y comunitaria.

Es hasta fechas recientes cuando el cambio climático, con abundante información, permea de forma más personal para plantearle a la población, ulteriormente, *cómo contribuir con acciones que ayuden a mitigar y adaptarse al cambio climático*. Se hace

referencia a esas dos tendencias generales con ciertos resultados masivos de la población porque la información más profunda, específica y científica, la masa poblacional la conoce muy poco, sobre todo en los países no desarrollados; por tanto, la información y el conocimiento quedan relativizados por la escala social a la que se pertenece. Aquí no habrá lugar para desarrollar cuál es la calidad de información sobre cambio climático que han manejado los medios de información por ser un tema muy extenso.

De forma paralela al proceso global de penetración temático del cambio climático, se comienza a revalorar el conocimiento no sistematizado de los pueblos originarios en el mundo. Son ellos quienes mejor se han relacionado con la Tierra como el único hábitat humano al sentirse parte de ella, al saber respetar sus ciclos para preservarla sana, y al no actuar como la población que se escinde y la subordina, que es la mayoría, como lo observa la corriente de pensamiento llamada *Epistemología del Sur* con:

[...] el reclamo de nuevos procesos de producción y de valoración de conocimientos válidos, científicos, y no científicos, y de nuevas relaciones entre diferentes tipos de conocimiento, a partir de las prácticas de las clases y grupos sociales que han sufrido de manera sistemática las injustas desigualdades y las discriminaciones causadas por el capitalismo y por el colonialismo... Las dos ideas centrales de la epistemología del Sur son la ecología de saberes y la traducción intercultural... La ecología de saberes comienza con la asunción de que todas las prácticas de relaciones entre los seres humanos, así como entre los seres humanos y la naturaleza, implican más de una forma de conocimiento y, por ello, de ignorancia. Epistemológicamente, la moderna sociedad capitalista se caracteriza por el hecho de que favorece prácticas en las que predomina el conocimiento científico... La segunda idea central de una epistemología del Sur es la traducción intercultural, entendida como el procedimiento que permite crear inteligibilidad recíproca entre las experiencias del mundo, tanto las disponibles como las posibles... las experiencias del mundo son tratadas en momentos diferentes del trabajo de traducción como

totalidades o partes y como realidades que no se agotan en esas totalidades o partes (De Sousa 2010, 43-46).

De esta vertiente del pensamiento en América Latina, surge la corriente que reflexiona en lo que significa la *Pachamama* o Madre Tierra para los pueblos originarios. Fuente de experiencia histórica y empírica que se encuentra en los saberes ancestrales de los grupos étnicos, misma que se ha transmitido por generaciones y siglos, de forma oral. De la que destaca la voz del sociólogo Boaventura de Souza Santos, quien sistematiza este saber en *Epistemología del Sur* como:

Esta otra epistemología que tiene su génesis en la Teoría Crítica y se recrea en América Latina, desde el Sur, se asume desde la praxis de un logos emancipador que fractura los límites hegemónicos del “capitalismo sin fin” y del “colonialismo sin fin”, ya que hace posible recuperar desde la “sociología de las emergencias”, la presencia de los pueblos milenarios que han logrado la recreación de su hábitat a través de una relación simbiótica directa, con los ciclos o procesos de génesis y muerte de la Madre Tierra (*Pachamama*) (De Sousa 2011, 17-39).

También se suma la voz del poeta y ecólogo Víctor Manuel Toledo (Toledo y Barrera-Bassols 2011) quien, en su libro *Memoria Bicultural: Ecología, su relación con la espiritualidad y la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*, pone en primer plano la necesidad del reencantamiento espiritual del humano y su vínculo con la Tierra. A esta corriente de pensamiento se le suma que son las Organizaciones No Gubernamentales (ONG), las asociaciones civiles y los movimientos socioambientales de quienes se logra obtener información profesional relacionada con la experiencia para que el conocimiento se logre traducir en formas de acción sociales (Solís 2014).

Estos son algunos de los antecedentes para que los artistas den luz en sus obras a la problemática del cambio climático de forma más organizada, en el curso de los últimos diez años en

que ya se han desarrollado nodos de difusión de la información a partir del internet, puntos de convergencia con las múltiples Conferencias de las Partes de la CMUNCC (en 2018 la COP24 en Catowise, Polonia), e incluso acceso al uso de tecnologías de punta para expresarse.

El arte que se expresa a través del cambio climático aporta obras y piezas referenciales para formular nuevas preguntas. Además, abre la discusión a creencias erróneas, disonancias cognitivas, confusiones, dudas y zonas oscuras, así como para buscar (en todo caso) dar luz a los motivos que obstaculizan las disposiciones para actuar y asumir la responsabilidad personal, y la colectiva frente al fenómeno, y con ello recortar el salto entre lo mundial y lo local, entre “el qué voy a hacer en abstracto”, y el empuje emocional que provoque la obra de arte para concretarse en acciones.

Las siguientes descripciones de los proyectos que relacionan el arte con el cambio climático apoyarán a reflexionar comparativamente en cómo se gesta su resiliencia social en los países donde se celebran, para al final de cada descripción revisar la posición de México respecto a estas voces.

### **#Art4Climate**

“La combinación del Arte para reflexionar en la resiliencia del Cambio Climático” es un proyecto con hegemonía mundial que concentra diversas expresiones artísticas, y se organiza y celebra en varios países. Nick Nuttall, vocero y director de Comunicaciones y Difusión para la Conferencia Mundial en la ONU sobre el Cambio Climático, aborda en 2017 el potencial de las artes para luchar contra el cambio climático en la Sesión 573 con el tema “El arte de la resiliencia: creatividad, coraje y renovación”. A esto se suman periódicamente campañas para mostrar proyectos artísticos que den mayor visibilidad al papel de las artes y la cultura dándole forma a la responsabilidad social (Abellan 2017).

A lo expuesto en la Sesión 573 le sigue el establecimiento de la plataforma web Salzburgo Global, proyecto que dirige Susanna

Seidl-Fox, en Austria, apoyado por el conjunto de las fundaciones Edward T. Cone Foundation y Julie's Bicycle, las dos sin fines de lucro. La iniciativa Salzburgo Global, también se enlazó con C40 Cities Climate Leadership Group, una coalición de más de 90 ciudades alrededor del mundo que trabajan en conjunto para enfrentar el cambio climático. Su objetivo fue producir una hoja de ruta del compromiso cultural y artístico para presentar a los gobiernos que participaron en la COP de 2017.

Es en este contexto que se han desatado numerosos proyectos de suma valía, enmarcados en #Art4Climate, megaproyecto del que se retoman descripciones de las siguientes manifestaciones artísticas por su relevancia, y de los que vale preguntarse si los artistas están usando la resiliencia como un activo. ¿De qué manera se podría lograr que la relación entre arte y resiliencia fuera mejor entendida?:

1. “Danza para concientizar a los jóvenes sobre el cambio climático” (30/06/2017) la escenifica la compañía de danza Sapphire Creations del este de la India; contribuye a concientizar sobre el cambio climático, mediante coreografías en las que se usan artes marciales y máscaras de dioses hindúes. Con la danza “Ekonama”, sus protagonistas interpretan la adaptación de las consecuencias devastadoras del cambio climático en una comunidad: la lucha por sobrevivir en un mundo futuro con los estragos que sufre la naturaleza, y la escasez de alimento, la cual genera pelea entre sus integrantes. Incluso en este futuro los dioses han perdido su dignidad, lo cual en la cosmogonía india es inaudito.

Aquí la resiliencia social que genera la obra escénica busca involucrar activamente al público y estimular la protección del planeta pensando en preservarlo para las próximas generaciones. Además, tiene en cadena otros beneficios de valor, como la elaboración del vestuario empleado por los bailarines en el espectáculo, hecho con restos de textiles que fueron reutilizados. Los meses previos al estreno de “Ekonama”, la compañía de danza Sapphire

Creations lanzó la campaña informativa “Ekosense”, para concientizar al público con relación a la India como un país especialmente vulnerable al impacto del cambio climático por las olas de calor y las sequías, por su ubicación cercana al ecuador, y por su tendencia al aumento del nivel del mar que pondrá en riesgo a la población de las zonas costeras.

México, con relación a la construcción de formas de expresión del cambio climático a través de la danza, es débil. No se ha ocupado en fortalecer ese músculo del arte que es un círculo muy pequeño y casi sin financiamiento, además de que éste se encuentra concentrado en su mayoría en la Ciudad de México (Sectur 2014). Sin embargo, como país multicultural sería sencillo meter las manos a las raíces del mosaico mesoamericano para aprovechar su riqueza temática y abrir esta vertiente en distintas entidades, la cual podría tener resiliencia nacional e internacional, cuando bailarines y coreógrafos contemporáneos retomaran mitologías, leyendas, cuentos y danzas relacionadas con el culto a la naturaleza de las diversas cosmogonías étnicas ancestrales, ya con un estilo actual. Esta idea surge como un parangón con la iniciativa “Ekonama”, de la India.

Esto podría realizarse rememorando, por ejemplo, a las deidades mexicas como la Coatlicue, diosa de la fertilidad, madre de los dioses, representante de la vida; a Tláloc, dios de la lluvia, también relacionado con rayos y tormentas; a Ometéotl, dios de la dualidad, el que suministra energía cósmica universal de la que todas las cosas derivan, o a Huehuetéotl, dios del fuego que aparece representado por varias cosmogonías como la azteca, la teotihuacana y la zapoteca. Con los dioses de la cosmovisión mesoamericana se podrían establecer paralelismos para dar a conocer que “México tiene características geográficas que lo colocan como uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático. Su localización entre dos océanos, y su latitud y relieves, lo hacen estar particularmente expuesto a diferentes fenómenos hidrometeorológicos extremos” (Sectur 2014). La danza, por su

lenguaje corporal y festivo, podría estimular a una población más amplia para informarse y accionar en relación con la resistencia y el freno contra el cambio climático en todo el territorio, y aprovechar en llevar al mundo una producción portentosa e inserta en los megaproyectos pertenecientes a la CMUNCC (Ivelic 2017).

2. “Montajes de arte retratan la resistencia natural” (Initiative on Climate Change policy and Governance 2017), exposición de las artistas Susan Quateman y Leslie Bartlett que combina dos técnicas: pintura en seda y fotografía. En el principio de su proceso creativo, Bartlett toma fotografías de paisajes, rocas, bosque, caminos y estanques. Luego, Quateman utiliza las imágenes para hacer pinturas de seda con colores que ayudan al espectador a centrarse tanto en la belleza como en la vulnerabilidad de los paisajes. Ellas quieren lograr que su “Obra de arte grite suavemente las palabras urgencia, conexión y resistencia a la comunidad de activistas que buscan lograr los objetivos del Acuerdo de París sobre el cambio climático” (UNFCCC 2017b [traducción propia]), y así despertar acciones concretas. Varias de sus exposiciones se presentan junto con información científica, o bien los montajes tienen lugar en bosques. Además, las temáticas de sus obras ponen el foco en el aumento del nivel del mar, las tormentas, y sus efectos en paisajes costeros. Susan Q. y Leslie B. también resaltan la importancia de preservar estos hábitats porque sirven como barreras naturales contra los impactos del clima.

El ejemplo anterior de este tipo de exposiciones visuales en México podría tener mayor producción debido a que requieren un financiamiento poco oneroso, pero al mismo tiempo son eventos poco relevantes al interior mismo del ambiente artístico debido a su enlace con lo científico, además de que circulan en linderos aún cercados por su falta de difusión y poco apoyo. Un ejemplo mexicano es el que gestó el rescate del bosque de árboles ahuehuetes, árbol tipificado como nacional de México, ubicado en el Parque Nacional de Río Blanco, en Orizaba, Veracruz. La aso-

ciación civil Proyecto Ahuehuate desplegó todo un movimiento forestal, y se logró con trabajo de *tequio* (Flores-Quintero 2004) limpiar varias toneladas de basura que había en el río y devolver a los más de 600 árboles enormes y centenarios la respiración que precisaban a través del agua para vivir.

De este proyecto destaca la obra fotográfica de Federico Botta, titulada “Guardianes del río” (Botta *et al.* 2012), a la que le faltó difusión a nivel nacional para que en otros estados de la República se replicaran acciones con relación a los aspectos que amenazan a sus ecosistemas. Sin embargo, este movimiento tuvo muy preciada respuesta por parte de la población veracruzana, aunque no a nivel nacional. La relevancia del proyecto fue tal que incluso se produjo el documental titulado *Ahuehuetes, los viejos del agua* (Morgado y Mateos-Escamilla 2016).

3. “Support” (Initiative on Climate Change policy and Governance 2017) es una escultura monumental de dos piezas que son un par de manos, las cuales emergen del agua. Se instaló en la pared externa uno de los palacios de Venecia, ahora el hotel Sagredo, y fue creada por Lorenzo Quinn (2017), el quinto hijo de Anthony Quinn (actor nacido en Chihuahua, México), y conocido en Hollywood por haber compartido escenario con su padre, además de haberse formado como artista plástico en Estados Unidos e Italia, donde se convirtió en un destacado escultor. Las manos miden 9 metros de altura y pesan 2 500 kg cada una, y fueron producidas completamente a partir de materiales reciclados. Se eligió Venecia porque es una ciudad que se encuentra en peligro de devastación por el cambio climático. Debido a ello, la obra tuvo como objetivo llamar la atención mundial del público con motivo de la COP23, que se celebró en Bonn en 2017, año en que la Conferencia fue presidida por Fiji, una nación afectada por el problema del aumento del nivel del mar, al igual que Venecia. A la escultura la complementa un documental que reproduce su montaje desde la transportación por vía marítima.

4. “Después del fin del mundo” (UNFCCC 2017d) se desarrolla en Barcelona, ciudad-plataforma mediante la que se concientizaría acerca del cambio climático y la necesidad de actuar ante sus efectos a nivel Unión Europea. Artistas, filósofos, montañas de arena, novelistas, animales marinos, dramaturgos, plantas, arquitectos, objetos, diseñadores especulativos, ríos contaminados, satélites y científicos fueron parte de la convergencia para imaginar escenas, contar historias y construir estrategias para sobrevivir en el mundo del año 2050 y más allá.

Se diseñaron diversos escenarios interactivos simulando un supuesto futuro que mostrara cómo habría cambiado el planeta de forma irreversible durante la era del Antropoceno, una era donde las actividades humanas han causado un fuerte impacto medioambiental e incluso geológico. Se trata de una extensa exposición que plantea la crisis climática actual y futura, tras dos siglos de intervención del hombre en los sistemas naturales. Ésta busca cuestionar cómo llegará la humanidad a la segunda mitad del siglo XXI, y cuál es su responsabilidad como sociedad hacia las generaciones futuras, quienes sufrirán las consecuencias.

El montaje tuvo ocho instalaciones, o formas experimentales artísticas en un contexto y espacio determinado como arte efímero, todas interconectadas. La “Estación Ciudad” es una base de experimentación y acción participativa en el espacio público de Barcelona, adecuada como clínica ambiental, concebida por Natalie Jeremijenko, ingeniera y artista. El “Ministerio del Futuro” se diseñó con la idea de proyectar una política a largo plazo, e investigar las condiciones de desigualdad y temporalidad, así como las diferentes magnitudes en las que se define la crisis.

Entre otros participantes estuvieron la compañía de teatro alemana Rimini Protokoll, que escenificó una experiencia dramática sobre la sobrevivencia de las especies en la crisis climática. Tomás Saraceno, de Argentina, presentó “Aeroceno”, instalación de arquitectura utópica que imagina la atmósfera como un nuevo territorio para la expansión de la humanidad. Benjamin Grant, de

Estados Unidos, hizo la curaduría de la plataforma de fotografía satélite “Overview”, con la que se busca enfrentar al público a la realidad de la nueva piel de la Tierra. Y el estudio “Superflux”, con diseño-ficción, fue realizado por creativos de India e Inglaterra, cuya propuesta se basa en “futurizar” un apartamento en el año 2050, en un mundo en que las sequías y huracanes han cambiado nuestra forma de alimentarnos.

La exposición en conjunto contó con un prólogo escénico del escritor norteamericano Kim Stanley Robinson, pieza central de la literatura de ciencia ficción contemporánea, y el ensayo-instalación desarrollado en cinco capítulos por el filósofo inglés Timothy Morton, padre de la *dark ecology* y del concepto de *hiperobjetos*.

Un proyecto con esta envergadura en México aún es impensable, por su dimensión, organización, alcance, proyección, reunión de talento nacional e internacional y, sobre todo, por el financiamiento que requiere su realización.

5. “Sustainable Dance Floors” (León 2017) es un proyecto innovador, emblemático y divertido que nació en la imaginación del ingeniero holandés Stef van Dongen (2008 ENVIU [2016]). Luego de una noche de baile en una discoteca, se planteó traducir en una “pista de baile sostenible” su interrogante de “¿qué pasaría si pudiéramos almacenar toda esta energía y convertirla en electricidad?” (Vice Media UK 2014). Así, produjo electricidad con energía cinética de los movimientos de las personas. Y es que Dongen es singular: a lo largo de los años ha cofundado más de una docena de empresas sociales y programas de innovación en los ámbitos de inclusión financiera y económica, sistemas alimentarios y economía circular. La pista de baile sostenible fue desarrollada por la empresa holandesa Energy Floors, y se ha estado utilizando desde entonces en espacios públicos, festivales de música y eventos deportivos en todo el mundo, como son: La Hora del Planeta, el festival de Coachella, el Super Bowl, y en los maratones de Berlín, Londres o Madrid.

El objetivo de la pista de baile sustentable es que la población experimente la posibilidad de conseguir un cambio de mentalidad, al contribuir de forma personal bailando. Y el mensaje a la comunidad internacional es: “Si quieres frenar el cambio climático, ¡ven a bailar!”. Este proyecto se distingue por repercutir con la mitigación al cambio climático, a través de la generación de energía renovable, y ha causado un gran revuelo. Bailar en México generando energía renovable sería uno de los más populares proyectos para desatar en todo el país, pues a la población, por idiosincrasia, le fascina bailar, y sería estupendo replicar la pista de baile sustentable en este lado del mundo (Ivelic 2017).

Aquí se cierra la descripción de algunos de los numerosos proyectos artísticos que han cobrado vida, a través del portentoso financiamiento de la CMNUCC y el IPCC, y mediante las mega organizaciones de gobiernos, instituciones y comunidades de artistas que han sido abrazados para llegar a buen término con sus objetivos convertidos en retroalimentación del público que tuvo contacto con ellas, donde la mayoría de las expresiones se ha dedicado a frenar el cambio climático, vía la adaptación. Se desconoce si la iniciativa de #Art4Climate cuenta con evidencia global de sus resultados, pues sólo se hizo un registro de los asistentes a las exposiciones e instalaciones en los diversos países que tuvo lugar, pero no hay un control estadístico de esa información.

A continuación, se analizan expresiones artísticas que muestran los efectos del cambio climático en la sociedad y buscan visualizar y evidenciar por si mismas el cambio climático.

No me explico que en un día gris pueda hacer tanto calor. Es como si el viento y la lluvia se hubieran ido para siempre y un vengativo Sol Invisible reinara sobre el planeta muerto de sed.

“El color del calor”, José Emilio Pacheco

Justin Brice Guariglia tiene una voz independiente y fuerte, es originario de Nueva Jersey, actualmente vive en Nueva York, Estados Unidos, y tras varias residencias artísticas en Venecia, Beijing, Singapur, Tokio, Taipéi y Shanghái (1995-2015), fue definiendo su expresión en el arte hacia el cambio climático. La más reciente instalación “We are Asteroid II” (09/11/2018) la desarrolló primero en colaboración con Expo Chicago y Union of Concerned Scientists, y luego como Climate Signals, en Nueva York, con el Museo del Clima y una gran cantidad de socios, incluida la oficina del alcalde de la ciudad (Fotos 1 y 2).



Foto 1. “Goodbye Arctic Ice”. *WE ARE THE ASTEROID III* 2019. Moody Center for the Arts West Lawn. Rice University, Houston, Texas, 2019. Fuente: <https://bit.ly/3mVC2YG>.

En ella utilizaron tableros elaborados con leds de energía solar, para comunicar la urgencia de la crisis climática. La idea de poner diez mensajes parpadeantes en distintas carreteras llegó al artista cuando sustituyó con aforismos el efecto de las señales

que recuerdan a los automovilistas disminuir la velocidad y tomar precauciones. Con ello buscaba provocar que la gente pensara en el cambio climático y en mejorar el medio ambiente. Las señales mostraron las frases: “Somos el asteroide”, “Calentamiento global en el trabajo”, “La negación del clima mata”, “50,000,000 refugiados por el cambio climático”, “Poner fin a la injusticia climática”, por mostrar algunos ejemplos. Guariglia incluyó al filósofo Timothy Morton como autor de las frases. En Nueva York, cada señal se mostró en varios idiomas para reflejar la diversidad cultural del vecindario. La instalación comunicó de forma específica qué cambios se han producido en el medio ambiente, tales como los niveles más altos de dióxido de carbono, la fusión del hielo ártico y el aumento drástico de la temperatura que imita el clima peligrosamente caluroso y seco del Triásico, periodo que terminó con la extinción en masa de la mitad de las especies en la Tierra.



Foto 2. Estudio de Justin Brice Guariglia: “Peligro: Antropocentrismo”, parte de la semana del clima del club de exploradores y la semana del clima. Fuente: The Climate Museum, Nueva York, 2018. <https://bit.ly/3sZrlFL>.

Guariglia con esta exposición, que estuvo durante la celebración de las elecciones de noviembre de 2018 en Nueva York, buscó al mismo tiempo provocar al electorado para que pensara en votar por los políticos que se manifiestan ecológicamente y como una manera de subrayar el discurso anticambio climático del presidente Donald Trump, como aludió Miranda Massie, directora del Museo del Clima en Nueva York, al argüir que los políticos niegan la realidad del cambio climático, como se puede observar en el discurso del presidente, nativo del condado de Queens (Milman 2018). Así, en cada uno de los cinco condados de Nueva York se colocaron diez mensajes, incluidas las áreas consideradas especialmente vulnerables al aumento del nivel del mar, y a las poderosas tormentas asociadas con el cambio climático, como los Rockaways, en Queens, y el lado oeste de Manhattan. La trayectoria apasionada de Guariglia es de llamar la atención, pues ha dado importantes muestras de estar comprometido con el cambio climático.

Por ejemplo, el 29 de agosto de 2016, cuando en Sudáfrica fue la conmemoración del Congreso Geológico Internacional y se votó 30 a 3 a favor de designar formalmente al Antropoceno, el artista se tatuó en el brazo el índice GISTEMP (que describe gráficamente las anomalías de la temperatura global de 5 años) de la NASA. El índice rastrea, de izquierda a derecha, el aumento de la temperatura global desde 1880 hasta 2016, según lo compilado por el Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) de la NASA en la Universidad de Columbia. Los datos provienen de un modelo de temperatura ideado a fines de la década de 1970 por el climatólogo y el ex científico de la NASA, el Dr. James E. Hansen.

También Guariglia consiguió con este performance, a través del tatuaje, hacer énfasis en miles de sus seguidores de las redes sociales, al informar con este acto simbólico sobre la declaración científica de que la Tierra dejaba atrás 11 700 años del Holoceno y entraba a una nueva era geológica, destacando el aumento de la temperatura en el Antropoceno (Foto 3).



Foto 3. Brazo del artista Justine Guariglia con el tatuaje del índice GISTEMP, anomalías de la temperatura global durante 5 años, de la NASA. Tatuaje realizado por el artista Frances Segismundo, *The Studio of Justin Brice Guariglia*, 2016. Fuente: *The Studio of Justin Brice Guariglia*, 2016. <https://bit.ly/3kC7Cs0>.

Alfredo de Stéfano, fotógrafo y artista visual, es uno de los contados artistas que tienen voz propia en México. Su obra, al desarrollarse en el desierto como escenario creativo, está relacionada con el cambio climático, aunque no se remita textualmente al mismo. Además, refleja simbolismos que, como poesía, corresponde a quien la interpreta ubicarla con un sentido específico. De Stéfano es oriundo de Saltillo, Coahuila, por tanto, es el Desierto del Norte de México donde encuentra una relación inherente con su inicio en la fotografía de paisaje, actualmente ya con una larga trayectoria. Robert Rauschenberg y Jasper Johns, del movimiento expresionista abstracto americano, entre otros, fueron unas de sus inspiraciones. Aunque se considera un artista autodidacta, tiene antecedentes de estudios en comunicación, y ha trabajado en televisión y mercadotecnia.

En su obra el autor ha intervenido y retratado el desierto, con un rostro dramático, pero también desconocido al relatar la realidad de otro universo muy pocas veces visto. La sequía como naturaleza de este espacio, en los ojos de De Stéfano, puede reflejar lo sublime. Son esas oscilaciones conceptuales con pinceladas de símbolos que inventa las que apelan a una estética muy personal y, al mismo tiempo, desde otra lectura visual, nos llevan a los subterfugios de sus secretos. Para remitirnos a un ejemplo sencillo está “Cuchillos para que deje de llover”, una de sus instalaciones realizadas en el desierto de Coahuila y luego conocida por sus fotografías, revela la superstición de clavar machetes en la tierra para que no llueva.



Foto 4. “Cuchillos para que deje de llover” (Desierto de Coahuila, México, 2003). Fuente: colección y cortesía, Alfredo de Stéfano. <https://bit.ly/3kEjtWk>.

Desde el 2008 está creando una serie fotográfica, que se llama “Tormenta de Luz” que no sólo tiene como escenario México, sino que abarca otros trece desiertos alrededor mundo. Desde entonces, De Stéfano ha vivido viajando durante este largo periodo por el Sahara, el Namib, el Gobi en Mongolia, el desierto de Atacama en Chile, en la Puna que es en el norte de Argentina, así como en Islandia, en donde no se trata propiamente de un desierto sino de una zona árida donde hay volcanes, ceniza, rocas y glaciares. Igualmente, a su camino se suman los desiertos de Australia (la mayor parte de este país es árida y semiárida); de Thar, en India, y los de Mojave y de Colorado, en el sur de Estados Unidos. Alfredo de Stéfano observa que durante el periodo reciente se concentró más en los desiertos extranjeros.



Foto 5. “Espejismos” (Desierto de Coahuila, México, 2002). Fuente: colección y cortesía, Alfredo de Stéfano. <https://bit.ly/3zwWKSt>.

De Stéfano sigue cultivando su obra, en la que el sonido del desierto se vuelve un misterio en el viento, el silencio y la nada del espacio son vida latente en el reflejo de quien las mira. Por ello con *Yermo*, documental dirigido por Everardo González (autor de *La libertad del Diablo*, 2017, reconocido documental) el cual se estrenará en 2020, Alfredo de Stéfano lleva de la mano al cineasta por su idea de “desierto”. Luego de tantos años tras coleccionar experiencia en este paisaje aparece él mismo en pantalla, además de ser coproductor. *Yermo* retrata la vida de quienes habitan esos lugares inhóspitos, pero cautivadores, y con quienes construyen al mismo tiempo un filme sobre cómo nos ven aquéllos que son filmados.

Es un documental que tienta a ser visto por el público debido a la mancuerna talentosa de dos amantes de la imagen: Alfredo de Stéfano y Everardo González, acompañados de un equipo de colaboradores relacionados con el mismo ecosistema. *Yermo* es una de las películas que se estrenarán en el Festival Internacional de Cine de Guadalajara, posfechado debido a la pandemia mundial del coronavirus 2020.

De Stéfano lleva 20 años de carrera y ha expuesto en distintas ciudades alrededor de los cinco continentes: Beijing, París, Madrid, Barcelona, Nueva York, San Francisco, Buenos Aires, Houston, Miami, São Paulo, Monterrey, Nápoles, Bogotá, Londres, La Habana, Lima, El Cairo y Santiago de Chile, entre otras, sumando alrededor de 90 exposiciones.

Pese a todo lo mencionado de su constante luz como artista en el escenario internacional, a nivel nacional es un autor poco conocido, y por lo mismo su trayectoria no repercute a escala del gran público. Incluso se podría decir que su obra no está pensada o proyectada para el público masivo. Hay varios factores que, en diversas entrevistas, él ha mencionado sobre cómo fue resistir y florecer en su quehacer. Lo cierto es que en México la falta de financiamiento a los artistas o productores de arte, en la mayoría de las expresiones, está descuidada y es considerada en un renglón no significativo para la economía del país. Sin embargo, este

sector sí es atendido en países desarrollados, donde la industria cultural es tan competitiva como el sector del turismo, por dar un ejemplo, aunque sean tan distintos los sectores de la economía (Martos y Quinteros 2011).



Foto 6. “Luciérnagas” (Desierto de Coahuila, México, 2003). Fuente: colección y cortesía, Alfredo de Stéfano. <https://bit.ly/3BwBQn5>.

Esperemos que con *Yermo*, documental que tiene el spot del estreno, el arte visual de De Stéfano llegue a un público mucho más amplio.

Doce artistas contemporáneos en NY (Lescaze 2018) es una exposición que va a la vanguardia para expresar una posición crítica y colaborativa frente al cambio climático, puesta en relieve por Zoë Lescaze, crítica de arte, de la revista de *New York Times*. La instalación de la serie *T Agitprop* (2018) está integrada, entre otros artistas, por Alexis Rockman con “Árbol de la

extinción” –quien expresa su preocupación por la extinción de varias especies como Dimetrodon, extinto hace 242 millones de años, el Coral de Elkhorn, y Thylacine, extinto en Tasmania, 1936, etcétera–; Mel Chin, quien aporta “Sin amarre”, una aplicación descargable en Nueva York para generar asombro de lo que puede ser el futuro con el fenómeno de aumento del nivel del mar, usando la tecnología actual en dispositivos electrónicos, y Erin Jane Nelson con “Brackish TimePiece”, quien subraya que crear obras de arte sobre el cambio climático está vinculado a la historia de la intervención humana en tierras y vías fluviales, es decir, con la marca de la violencia.

También están los miembros del colectivo Dear Climate (2018), quienes participan como proyecto de investigación creativa en curso. Fundado en 2012 por Una Chaudhuri, Fritz Ertl, Oliver Kellhammer y Marina Zurkow, el proyecto “retoma la estética de la señalización educativa y las técnicas de meditación para guiar a los espectadores y oyentes, hacia una relación mejor informada, más realista y afectuosa con un mundo más humanizado, incluidas las fuerzas geofísicas y otras especies” (Lezcaze 2018). Este colectivo crea carteles, meditaciones guiadas, instalaciones y talleres para responder a la emergencia global que significa el cambio climático. Este grupo de artistas se distingue por ser más propositivo y transgresor, pues entre la meditación y el uso de aplicaciones por el teléfono móvil están logrando un acercamiento más íntimo con sus espectadores o seguidores, lo cual estaría apelando a una resiliencia de conciencia social y, al mismo tiempo, generando acciones al ser éstas propuestas que llaman la atención sobre la importancia que tiene frenar el cambio climático.

El proyecto llamado “Inhotim: Cambio Global” (10/2017), realizado a través del Banco Interamericano de Desarrollo y el Instituto Inhotim, ubicado en la zona llamada “Cerrado” en Mato Grosso-Brasil, ofrece una relación espacial entre el arte y la naturaleza para permitir a los artistas crear y mostrar sus obras en condiciones únicas. Con la exposición La encrucijada del cambio

glocal, el espectador está invitado a pasear por jardines, paisajes forestales y entornos rurales, caminando entre lagos, senderos, montañas y valles, experimentando activamente el espacio. Tiene por objetivo sensibilizar a la población tanto en la importancia del Cerrado, un ecosistema que está progresivamente amenazada por los monocultivos, particularmente por el de la soya, la expansión de la agricultura en general, y la quema de la vegetación para hacer carbón vegetal, como por los efectos del cambio climático. La exhibición también tuvo lugar en el Centro Cultural de Brasil con sede en Washington, D.C.

En la página web del Instituto Inhotim se observa que alberga un complejo museológico que cuenta con una serie de pabellones y galerías de obras de arte y esculturas expuestas al aire libre. Su surgimiento en el escenario de las instituciones culturales brasileñas tiene como marca la misión de crear un acervo artístico y definir estrategias museológicas que posibiliten el acceso de la comunidad a los bienes culturales. En ese sentido, se trata de aproximar al público a un relevante conjunto de obras producidas por artistas de diferentes partes del mundo, reflejando de forma actual las cuestiones de la contemporaneidad. El museo cuenta con obras permanentes y galerías rotantes, así como con un catálogo de artistas y colecciones.

## **Impactos del cambio climático: una visión desde México**

◇ ***Falta mayor resiliencia social del cambio climático en México***  
“Arte y cambio climático en México” engloba a las artes más frecuentes que se han manifestado en el país y se retoma el título de la revista 99 que publicó *Artes de México* en 2010, porque allí está un antecedente importante. El escritor Alberto Ruy Sánchez y Margarita Orellana, directores de la revista, reunieron en este ejemplar a artistas y científicos para dar continuidad a la reflexión del patrimonio cultural y biológico. Primero, traen a la memoria la Feria Internacional de Osaka, dedicada a la tecnología en 1970,

cuando algunos artistas de la década de 1960 realizaron un conjunto de óleos tamaño mural para la exposición *La tecnología contra el hombre*. Los pintores pertenecientes a la generación de *La Ruptura* (integrada por Manuel Felguérez, Lilia Carrillo, Roger von Gunten y Brian Nissen, entre otros), participarían en ésta, pero, por la dimensión de su obra, finalmente no expusieron en Japón. Sin embargo, con esta exposición se expresaba la crítica del uso de la ciencia y la tecnología de forma deshumanizada. En la actualidad, estas obras están expuestas en el Museo de Arte Abstracto Manuel Felguérez, en Zacatecas.

El número de la revista *Artes de México* reúne también un tejido de textos científicos, escritos por Mario Molina, Premio Nobel de Química (“El clima de los humanos”); Rodolfo Lacy, actual titular de la Dirección de Medio Ambiente de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) (“La nueva estética del Planeta”); Amparo Martínez, ecóloga y actual directora del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (“Los aires de la vida”); Alfonso Alfaro, antropólogo y director de investigaciones de la revista *Artes de México* (“Natura y cultura”); Adrián Vázquez, químico, profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, y asesor externo de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) (“El paso del tiempo”); Johannes Neurath, antropólogo y especialista en los grupos étnicos mexicanos huicholes y coras (“La naturaleza como sociedad”), y Federico Navarrete, doctor en Estudios Mesoamericanos y autor de libros respecto a los pueblos indígenas de México (“Los mayas de ayer y hoy”).

Los textos enunciados fueron ilustrados con las reproducciones de los óleos “Diluvio”, de Brian Nissen; “México bajo la lluvia”, de Vicente Rojo; “Cambio de tiempo” y “Descubrimiento de un geólogo mutante”, ambas de Remedios Varo; “La ciudad desbordada”, de Lilia Carrillo; con los arte-objeto “Bosque Portátil”, de Naomi Siegmann, y “Semillas de regeneración”, de Yvonne Domenge, así como con algunas fotos de Paloma Torres de la colección “Trau-

ma urbano”; con la escultura “Anhidro”, de Marina Lascaris; con una reproducción del mural “Paisajes de picos”, de José Clemente Orozco; con la fotografía termográfica de Rubén Ochoa y la emblemática instalación y fotografía “Cuchillos para que deje de llover”, de Alfredo de Stéfano, que es la cubierta de forros de la revista, además de otras obras de arte. A lo largo de sus páginas, el volumen de la revista tiene poesías selectas de autores como José Emilio Pacheco, con el “El color del calor”; León Felipe con “No somos más que polvo...”, y frases de Juan Rulfo, Vicente Huidobro y otros escritores.

Es importante observar el contenido: ¿por qué la conclusión editorial de una revista dedicada al arte fue publicar la voz científica, como *responsable social* para enunciar correctamente el contenido de cambio climático, y los artistas no fueron llamados para opinar, transgredir, motivar o impulsar, sino que fueron adicionados o amalgamados al contenido por la belleza de su obra, el simbolismo, la plasticidad, o por su peso histórico en la cultura mexicana, pero los textos no versaron sobre su obra, o los creadores no externaron su propia voz, no fueron entrevistados o citados? Este ejemplo de *Artes de México* se selecciona aquí sólo para remitirse a que en el país la expresión artística sobre el cambio climático está mucho más reducida que la expuesta por iniciativas como #Art4Climate que abarca a comunidades artísticas del mundo. De todas formas, se agradece a los editores de *Artes de México* el tema y su belleza.

### Reflexión final

En la actualidad, en la era digital, México cuenta con bastante contenido sobre el cambio climático desarrollado visualmente. Ejemplo de ello son carteles, fotografía, video, animación y algunos largometrajes, como *Nahui Ollin, sol en movimiento* (Isunza de Pech y Ballesté 2017) o *H2Omx* (Cohen y Hagerman 2014), además de que existe el acceso a una vasta filmografía extranjera que pone el tema en el centro. También está la organización de festivales de

cine de cortometraje en medio ambiente (Ecofilm, Cinemaplaneta Producciones, etcétera). Asimismo, ya se produjo la primera campaña nacional de cambio climático en el 2017 por el INECC, diseñada para televisión, radio, parabuses y redes sociales.

De ésta es de donde surgen varias conclusiones respecto al cambio climático en relación con la población mexicana, lo cual incluye la resiliencia artística, vista desde el prisma interno creativo del equipo de filmación que produjo la campaña, ya que quien escribe fue coordinadora temática de la misma. Además, se adicionan declaraciones de la entrevista exclusiva con Rodrigo Fernández (Solís 2019), ahora asesor del INECC, y en 2017 cuando se realizó ésta, director de Comunicación Social y Divulgación del INECC, quien con un equipo amplio de unos 200 científicos y técnicos en la materia, así como un equipo muy interesante de cineastas y creativos, especialistas en redes sociales, publicistas y equipo técnico, produjo la primera Campaña de Cambio Climático en México.

Tal vez la manera en que se podría lograr que la relación entre el arte centrado en el cambio climático y su resiliencia tuviera mayor penetración, sería:

- a) producir proyectos en toda la policromía de las expresiones artísticas y con mayor envergadura y resonancia para la población masiva. Esto implicaría financiamiento no sólo para crear los proyectos, sino también para las campañas posteriores para difundirlos. Hay que proponer que entren a los bosques nacionales como espacios de exposición y actividades relacionadas con el cambio climático. Por ejemplo, cuando se celebró en 2019 la Feria de las Culturas del Mundo, los escenarios naturales dieron lugar a que el público asistiera a gran escala y cómodamente. Asimismo, es necesario esclarecer por qué la población en general no asume su responsabilidad en concreto, aunque se le dé información de acciones específicas, y por qué no se logra conectar la

información del cambio climático con intereses personales. En conversación con Rodrigo Fernández, se citan los signos que arrojó la campaña en 2017 en este sentido:

Era muy importante saber qué estaban haciendo los mexicanos respecto al cambio climático. En ese momento se percibió que gran parte de los mexicanos nombraba al cambio climático, pero no lo entendía. El cambio climático es un tema que la gente no sabe cómo hacerlo asequible. Era muy relevante hablar sobre la agenda de energías renovables, ganadería, de bosques y territorios, y de cómo cambiar los patrones de consumo, pues son los que generan mayores emisiones de efecto invernadero.

Detectamos una brecha generacional en el comportamiento y conocimiento hacia el cambio climático. La gente que tenía más estudios era quien más lo entendía junto con quienes tenían relación directa con la naturaleza, como campesinos, pescadores o comunidades forestales.

Los más preocupados por cambiar los modos de producción y consumo, como los principales detonantes de la crisis de cambio climático son los más jóvenes, la generación Z, quienes han utilizado internet desde siempre y se sienten cómodos con la tecnología y los medios de redes sociales, así como los millennials. Ambas generaciones serán adultos para 2030 y 2050. Se percibió lo importante que eran las redes sociales por la cantidad de tiempo que la gente pasa con su dispositivo celular revisando la web.

Por lo tanto, se volvió una prioridad incluir en la campaña animaciones, infografías digitales y *postings* estratégicos, para periódicamente abarcar temas de la campaña en forma sencilla, y publicarlas vía redes sociales. No se quiso generar miedo, entonces la campaña se basó en la idea de que el cambio climático “Nos toca, porque podemos hacer algo y nos toca a todas y a todos”. A esta idea le siguió “Cambio yo, cambias tú y cambiamos todo@s”. La idea implícita contraste era: ¿qué pasará si no hacemos nada, el planeta seguirá aumentando su temperatura? También, la campaña no puede “tocar” a todos los públicos, está dirigida a unos en específico para poder medir su impacto social (Rodrigo Fer-

nández, Dir. de Comunicación Social y Divulgación, INECC, entrevistado por la autora, 29 de noviembre 2019).

- b) Respecto a la resiliencia y apropiación social del conocimiento, se necesitan estudios de opinión a profundidad. Y esto vale para toda campaña. Es posterior cuando se nota si la audiencia lo adopta en su narrativa diaria, en su conversación y en sus actos. La campaña dio para posicionar una idea con el eslogan: “cambio yo, cambias tú y cambiamos tod@s”, sin embargo, no quiere decir que la gente va a entender qué es el cambio climático con un comercial de 30 segundos, o leyendo un póster en una mampara. Esto es el gancho para generar mayor interés.
- c) Se necesita llevar a la ciudadanía a las redes sociales, donde están los portales del INECC, con más información. La publicidad nunca va a dar conocimiento, pese a su apropiación, sino que sólo va a influir para atraer las miradas a donde la campaña busca que la audiencia tenga nuevas inmersiones y experiencias de conocimiento, como en los portales País y De Frente, en la web del INECC (Rodrigo Fernández, Dir. de Comunicación Social y Divulgación, INECC, entrevistado por la autora, 29 de noviembre 2019).
- d) Revisar por qué el cambio climático no es percibido por la mayoría como una amenaza real, salvo en los momentos y lugares donde hay episodios extremos, por ejemplo, cuando ocurrió en la Riviera Maya la crisis más reciente del sargazo (macroalga que no es nociva en sí misma) ubicada temporalmente en medio de “la transición de régimen de la 4T”, como se le ha denominado a la administración de Andrés Manuel López Obrador, presidente actual de México. En este sentido, es importante resaltar que fue al inicio de esta administración que el cambio climático descendió varios escalones en la agenda nacional, por tanto dejó de estar en el foco del entendimiento de la población. A esto le siguió la más severa crisis de sargazo en la Riviera Maya durante

julio de 2019, frente a la demanda de turistas nacionales y extranjeros, quienes en verano llegan de vacaciones a las playas celestes de esta zona famosa por su belleza, las cuales se oscurecieron con la nata de sargazo flotante en enormes cantidades y con un olor fétido.

En ese momento extremo la población y los lugareños volvieron la atención a las causas de ello relacionadas con el cambio climático. Hay muchos otros ejemplos, sin embargo, el entendimiento de cómo nos afecta el cambio climático debe llegar a la población no con los problemas o fenómenos físicos encima, sino con hechos relacionados en beneficio de su comunidad.

- e) El arte en México a través del cambio climático puede seguir dando esperanza, y empujando como punta del iceberg, para subirse a la ola del cambio que vive el país, anteponiendo:

[...] levantar sin complacencias todas las capas de la opresión y entre ellas, especialmente, las descripciones del mundo que reducen nuestra percepción, a una sola dimensión, impidiéndonos vislumbrar los diferentes órdenes de realidad y los diferentes planos dimensionales y epistemológicos en los que es posible organizar la socialidad. El desafío o nudo mayor de las fuerzas libertarias es el de dejar de pensar como ahora se piensa. Romper los moldes para inventar, pero también para descubrir lo que no es visible o consciente, o lo que ha sido reprimido o negado. Redescubrir la complejidad y las bifurcaciones. Desplazar el ángulo de visión. Dislocar los sentidos. Multiplicar los significados (Ceceña 2008, 90).

¿México seguirá asumiéndose como un país que va adelante en la constelación internacional, para contribuir a frenar al cambio climático, ante las respuestas que la Tierra expresa en el Antropoceno? Esta es una pregunta que se seguirá desatando, o en el mejor de los casos fluyendo, mientras que México no se vea afectado por la política anti cambio climático del país vecino, los Estados Unidos, en especial frente a la inusitada pandemia

global por el coronavirus que 2020 marca como un punto de inflexión para la humanidad.

## Referencias

2001. “Anexo B. Glosario de Términos”. En *Tercer Informe de evaluación. Cambio Climático*, 173-199. <https://archive.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>.
- ABELLAN, A. 2017. “Nick Nuttall We need to bring together different voices, and use every single resource we have to cooperate”. *News Letter. Salzburg Global Seminar*. <https://www.salzburg-global.org/news/latest-news/article/nick-nuttall-we-need-to-bring-together-differentvoices-and-use-every-single-resource-we-have-to.html>.
- BARTLETT, L. 2017. “Resilient Landscapes” [Archivo de video]. 29 de agosto. [https://www.youtube.com/watch?v=FR-\\_90NhPAE](https://www.youtube.com/watch?v=FR-_90NhPAE).
- BOTTA, F. *et al.* 2012. *Proyecto Ahuehuetl*. Veracruz: Bengala.
- CECENA, A. E. 2008. *Derivas del mundo en el que caben todos los mundos*. Buenos Aires: Clacso/Siglo XXI. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/becas/cecena.pdf>.
- CENTRE DE CULTURA CONTEMPORÀNIA DE BARCELONA. 2017. “Después del fin del Mundo”. <http://www.cccb.org/es/exposiciones/ficha/despues-del-fin-del-mundo/224747>.
- CINEMA PLANETA. s.f. “Cinema Planeta 12”. <https://cinemaplaneta.org/>.
- COHEN, J. y L. Hagerman. 2014. *H2Omx*. Cactus Film México. 69 min. <https://vimeo.com/103780777>.
- CHAUDHURI, U., F. Ertl, O. Kellhammer y M. Zurkow. s.f. “Dear Climate. About”. Acceso enero de 2018. <https://www.dearclimate.net/about/about>.

- DE SOUSA SANTOS, Boaventura. 2010. *Refundación del Estado en América Latina. Perspectivas de una Epistemología del Sur*. Lima: Instituto Internacional de Derecho y Sociedad, Programa Democracia y Transformación Global. [http://www.boaventuradesousasantos.pt/media/Refundacion%20del%20Estado\\_Lima2010](http://www.boaventuradesousasantos.pt/media/Refundacion%20del%20Estado_Lima2010).
- \_\_\_\_\_. 2011. "Utopía y Praxis Latinoamericana". *Revista Internacional de Filosofía Iberoamericana y Teoría Social* 16, n.º 54: 17-39.
- ENVIU. 2016. "Stef van Dongen". <https://www.enviu.org/people/stef/>.
- FLORES-QUINTERO, G. 2004. Tequio, identidad y comunicación entre migrantes oaxaqueños. *Amérique Latine Histoire et Mémoire. Les Cahiers ALHIM*. <https://journals.openedition.org/alhim/423#ftn9>.
- GUARIGLIA, J. B. 2019. "Guariglia". <https://guariglia.com>.
- INITIATIVE ON CLIMATE CHANGE POLICY AND GOVERNANCE. 2017. "#Art4Climate: UNFCCC looking for new locations for the artwork 'Support'". <http://www.iccgov.org/en/art4climate-un-fccc-looking-for-new-locations-for-the-artwork-support/>.
- INHOTIM. 2019. "Minas Gerais, Brasil". <https://inhotim.org.br>.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Editado por J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C. A. Johnson. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- ISUNZA de Pech, E. y G. Ballesté. 2017. *Nahui Ollin, sol en movimiento*. [Documental]. Cinema Planeta. Semarnat/Fondo para el Cambio Climático. 100 min.
- IVELIC, R. 2017. "Experiencia estética y conciencia ecológica". *Revista Aisthesis*, n.º 25-26: 53-62.

- KIBBI, A. 2017. "The Art of Resilience Creativity, Courage and Renewal". *News Latter. Salzburg Global Seminar*. <https://www.salzburgglobal.org/news/latest-news/article/the-art-of-resilience-creativity-courage-and-renewal-1.html>.
- LEÓN, F. M. 2017. "#Art4Climate: Acción climática en la discoteca". <https://www.tiempo.com/ram/378492/art4climate-accion-climatica-la-discoteca/>.
- LESCAZE, Z. 2018. "12 Artist on: Climate Change". *The New York Times Style Magazine*. <https://www.nytimes.com/2018/08/22/t-magazine/climate-change-art.html>.
- MARTOS, L. A. P. y L. F. A. Quintero. 2011. "¿Debe el Estado financiar las artes y la cultura? Revisión de literatura". *Economía e sociedad* 20, n.º 1: 195-228.
- MÉXICO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO. s.f. "El Cambio Climático de Frente. Infórmate y actúa". <http://elcambioclimaticodefrente.inecc.gob.mx/>.
- MILMAN, O. 2018. "Art can play a valuable role': climate change installations appear in New York". *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2018/sep/04/climate-signals-climate-change-installation-new-york>.
- MORGADO, A. y J. M. Mateos-Escamilla. 2016. *Documental del Proyecto Ahuehuete* [Documental]. México: ImagoStudioAudiovisual. 17 min. <https://vimeo.com/202569459?fbclid=IwAR3PADbduu5I-w2XHqAC6aKTsPI2lqQjNYwI3ThSoZy7WiIf0TqN-R5EQaHE>.
- PACHECO, J. E. 2009. *La edad de las tinieblas. Cincuenta poemas en prosa*. México: Era.
- QUINN, L. 2017. *Support*. [Documental]. Italia. Duración 97 min. <https://www.youtube.com/watch?v=jDNlYlLqGsM>.
- RUY-SÁNCHEZ, A. y M. Orellana, eds. 2010. *Artes de México*, n.º 99.
- SCHULTZE, R. O. 2014. "El bien Común. Fundamentos, teorías e ideas políticas" En *Teoría e ideas políticas*, editado por H. Sánchez, 323. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/8/3710/13.pdf>.

- SECTUR. 2014. “Estudio de Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Sector Turístico”. <http://www.sectur.gob.mx/programas/planeacion-y-politica-turistica/ordenamiento-turistico-sustentable/cambio-climatico/estudio-de-vulnerabilidad-al-cambio-climatico-en-el-sector-turistico/>.
- SOLÍS HERNÁNDEZ, M. T. 2014. “Análisis de los objetivos ecológicos, económicos y axiológicos de los proyectos de cooperación de la Unión Europea en Brasil: Amazonia Legal, Mato Grosso 2007-2013”. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- SOLIS J. 2019. Campaña Nacional de Cambio Climático, <http://encuentronacional.cambioclimatico.gob.mx/>
- STÉFANO, A. 2008. “Alfredo de Stefano”. <http://www.ade استفانو.com/>.
- \_\_\_\_\_. 2014. “Fotógrafo contemporáneo”. <http://travelmall.com.mx/alfredo-de-stefano-fotografo-contemporaneo/>.
- TOLEDO, V. M. y N. Barrera-Bassols. 2011. *Memoria Bicultural: Ecología, su relación con la espiritualidad y la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona: Icaria Editorial.
- UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE (UNFCCC). 2017a. “Baile para concienciar a los jóvenes sobre el cambio climático”. <https://unfccc.int/es/news/baile-para-concienciar-a-los-jovenes-sobre-el-cambio-climatico>.
- \_\_\_\_\_. 2017b. “#Art4Climate Combining Arts to Reflect Resilience to Climate Change”. 08 de septiembre. <http://resilientlandscape.com/PRESS.html>.
- \_\_\_\_\_. 2017c. “#Art4Climate: Un viaje por los paisajes del planeta Antropoceno”. <https://unfccc.int/es/news/art4climate-un-viaje-por-los-paisajes-del-planeta-antropoceno>.
- \_\_\_\_\_. 2017d. “Después del Fin del Mundo”. <http://www.cccb.org/es/exposiciones/ficha/despues-del-fin-del-mundo/224747>
- \_\_\_\_\_. 2018. “The Paris Agreement”. [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php).
- Vice Media UK. 2014. *Rebels with a Cause: Dance to make things better*. [Documental]. Reino Unido: MAZDA. 4 min. <https://vimeo.com/120581837>.



## 16. La sequía: códigos de representación del acontecimiento climático en el cine mexicano

Raúl Roydeen García Aguilar

### **Introducción: cine, representación y acontecimiento climático**

La capacidad de los medios de comunicación masiva para remitirnos a personajes, hechos y objetos del mundo, sean propios de la experiencia o ficcionales, es muy conocida y se ha estudiado largamente.<sup>1</sup> Esta facultad es incluso más notoria en los productos audiovisuales, dado que la actividad de los espectadores de narraciones presentadas a través de imágenes y sonidos oscila entre dos polos: reconocimiento e imaginación. El lector cinematográfico reconoce –en el primer polo– lugares, épocas, arquetipos y estructuras del mundo sensible y de textos con los que se ha encontrado anteriormente y, –en el otro polo– proyecta, a través de inferencias, las posibles ocurrencias del relato fílmico que decodifica en la sala de cine. Ambos extremos son necesarios para poner en funcionamiento el mecanismo de aprehensión de significados audiovisuales que se da en la síntesis de los niveles lógico-visuales y sígnico-narrativo.<sup>2</sup>

1 Tanto en la tradición de los estudios sobre medios de comunicación de carácter funcionalista, como en los estudios culturales y el campo de la teoría de cine y la cultura visual.

2 Desde una perspectiva semiótica ambas relaciones, mutuamente retroalimentadas, configuran el sentido de una película al engranarse en una cons-

La combinación de reconocimiento e imaginación constituye la potencia representacional del cine, permitiendo que éste sea un medio que expresa con eficacia todo tipo de historias, desde las dedicadas al gozo del espectador (por el placer estético o la proyección de sus fantasías) hasta aquellas que propician su actividad reflexiva sobre temas relevantes para las diversas dimensiones de su vida, incluyendo las esferas sociales, políticas, económicas y medioambientales, por mencionar algunas. Como señala Ignacio Riffo, retomando a Edgar Morin para explicitar esta cuestión:

El cine de por sí es imaginario, industria de lo imaginario, pensaba Edgar Morin en su obra *El cine o el hombre imaginario* (1972). También es invención constante, es imaginación y es un espacio que hace eco al imaginario colectivo. Además, es un artefacto que a la vez es sustentáculo y puela de transmisión de las representaciones sociales. En el cine los individuos se proyectan y se identifican como sujetos sociales (Riffo 2016: 71).

De este modo, el cine se nutre de lo social y sus imaginarios para elaborar sus textos, en los que las personas no sólo reconocen los objetos y sucesos de su entorno, sino que se perciben a sí mismos. Que las condiciones sociohistóricas, estéticas, tecnológicas o ecológicas de existencia estén presentes en cualquier filme permite que el cine sea una fuente rica para el análisis de lo social. En este contexto, una vertiente del análisis filmico que ha cobrado relevancia en los últimos años es la llamada “ecocrítica” que, como sintetiza Guerrero en la introducción de su libro *¿Tenemos derecho a un futuro?* (2016), es un tipo específico de crítica cultural o literaria que persigue analizar las representaciones que hacemos acerca

---

trucción particular de significado: cierta imagen se interpreta como signo que remite a alguna idea, interpretable como otro signo (visual o no) que detona una narración posible (sucesión de imágenes, ideas y estados), y que tomará un desarrollo (entre muchos posibles) hacia una conclusión: el desenlace, que desemboca en el significado textual (clausurado, autosuficiente) de la película que se interpreta.

de la naturaleza, el medioambiente, los seres que allí habitan y nosotros mismos. La principal labor de la ecocrítica es contrarrestar el dualismo que separa al hombre de la naturaleza, evidenciando que somos parte del ambiente y que sus cambios tienen repercusiones sobre nosotros y viceversa. Se trata de una manifestación de un giro más de las humanidades, esta vez hacia lo ecológico.

En lo que respecta al estudio del cine desde una perspectiva ecocrítica, es necesario distinguir entre varios tipos de filmes con alcances de magnitudes diversas. Así como lo político está presente en todo texto narrativo, lo ecológico también puede interpretarse de esta manera, como una dimensión ineludible de un relato que ocurre en un contexto específico y que aporta –inevitablemente– información sobre el estado del medio ambiente, la forma en que los personajes existen como parte del mismo y establecen interacciones individuales y sociales en función de la normalidad o extrañeza de este ambiente, su interpretación como negativo o positivo y las ideas y creencias que expresan al respecto. El argumento de un filme, las imágenes de los paisajes en que se desarrolla y los diálogos entre sus personajes son representaciones de condiciones ecológicas particulares.

Los modos de representación del cine, a través de planteamientos ficcionales o documentales, así como los géneros que compone cada uno de estos modos, articulan una variedad de codificaciones de las condiciones medioambientales necesarias para producción de sus relatos. Desde el cine de entretenimiento espectacular hasta el documental más concienzudo pueden ser interpretados desde una perspectiva ecocrítica. Así, la intencionalidad de sus creadores y el público al que está dirigido cada filme nos permitirá una aproximación de mayor o menor profundidad al respecto. Se trata de la posibilidad de leer cualquier filme en función de sus valores ecológicos: podemos explicar el medioambiente en el que ocurren sus tramas y cómo estas explicaciones pueden ser útiles para pensar nuestra vida, ya sea desde el pasado, para comprender las causas de la situación ambiental actual;

el presente, para explicar nuestra cotidianidad, o el futuro, para vislumbrar las consecuencias posibles de nuestros modos de vida.

Como lo menciona David Ingram (2013, 44), el *ecocine* es un término empleado para referirse a “películas que incluyen contenido conceptual que, de manera más o menos explícita, promueven ideas ecológicas o, de manera más general, una sensibilidad ecológica”. Para decirlo en palabras simples, es posible preguntarse: la película que vemos ¿nos hace pensar sobre el ambiente?, ¿nos produce emociones o sensaciones sobre nuestro ecosistema a través de sus imágenes?, ¿promueve en nosotros el emprendimiento de acciones para modificar nuestro medio ambiente?

En el presente artículo se aborda la capacidad del cine como un medio para transmitir sensibilidad ecológica en torno al tema del cambio climático. Para cumplir este objetivo el texto se centra en las codificaciones<sup>3</sup> filmicas más frecuentes de este problema: 1) el cine comercial espectacular, cuya fuente principal es la industria de Hollywood; 2) la *eco-ficción*, género intermedio que retoma publicaciones científicas y condiciones ambientales del dominio público (escasez de recursos naturales, contaminación ambiental) como fuentes para establecer narraciones sobre mundos posibles derivados de estas condiciones, y 3) el cine documental mexicano que contribuye a despertar la sensibilidad ecológica, visibilizando la cotidianidad de personas que viven en condiciones ambientales extremas. Esta tercera parte es la más extensa, pues aborda las ópticas regionales y locales en disputa, así como los criterios que dan validez a su representación.

3 Entiéndase por codificaciones las formas convencionales de representar un objeto, tema o idea. Para el presente artículo los códigos cinematográficos de representación obedecen a los modos, géneros y orígenes de los filmes, que suponen diversas maneras de esquematizar o diagramar un tema en función de las relaciones habituales entre sus dimensiones icónicas y simbólicas, es decir, las convenciones de sus estrategias de representación basadas en lógicas de imaginación y reconocimiento particulares

## **Nociones de acontecimiento**

La noción de *acontecimiento* servirá para vertebrar la discusión, pues tiene dimensiones discursivas relevantes para la comprensión del medioambiente como un espacio de cambios perceptibles. Los acontecimientos son sucesos que, por su puntualidad, pueden constituir transformaciones en el estado del entorno, en las formas de vida, o en las creencias y conocimientos sobre un tópico. En términos narrativos, un acontecimiento rompe con la estabilidad de los personajes, orillándolos a emprender acciones o, por lo menos, a modificar su disposición mental para afrontar los hechos de su existencia. De acuerdo con Miquel Rodrigo Alsina (1989), el acontecimiento forma parte de la construcción social de la realidad efectuada por los sujetos, pues son éstos quienes le dan sentido: los acontecimientos estarían formados por elementos exteriores al sujeto a partir de los cuales éste mismo se encargará de construirlo. A este respecto el autor establece las siguientes premisas:

1. Los acontecimientos se generan mediante fenómenos externos al sujeto.
2. Pero los acontecimientos no tienen sentido al margen de los sujetos, ya que son éstos los que le dan el sentido.
3. Se da una relación de inclusión, por la que los fenómenos externos percibidos por el sujeto se convierten en acontecimientos por la acción de éste sobre aquéllos. Los acontecimientos están compuestos por los caracteres de los elementos externos a los que el sujeto aplica su conocimiento (Rodrigo 1989, 81).<sup>4</sup>

4 El mismo autor señala que Edgar Morin propugna por el establecimiento de una sociología del presente, de bases marcadamente fenomenológicas que se encargue del estudio de los acontecimientos. Para esta perspectiva, entre otras características, el acontecimiento es –por principio– desestructurante, dado su carácter de accidente (perturbador-modificador) (Rodrigo 1989, 27-28).

Así, al tomar en cuenta que son los sujetos quienes dan forma a los acontecimientos a partir de su existencia –como hechos independientes de la volición humana–, en el siguiente apartado se describen las formas en que los hechos climáticos son llevados a la pantalla cinematográfica y se materializan principalmente como acontecimientos, capaces de detonar o fundamentar la narración o, en otros casos, de convertirse en expectativas postergadas o incumplidas. Las relaciones entre las creencias sobre cómo es el mundo habitualmente y la ruptura en la continuidad de la experiencia ocasionada por los acontecimientos climáticos, suscitan nuevas preguntas y explicaciones, pero éstas siempre estarán en función del conocimiento que los sujetos poseen de su entorno, y que da forma a su cotidianidad. Un enfoque como éste permitirá abordar las diversas formas de dar significado al acontecimiento climático, gracias a estrategias y referencias regionales empleadas para la representación cinematográfica de valores ecológicos.

### **Codificaciones fílmicas del acontecimiento climático**

Entre los hechos que se han relacionado con el cambio climático se encuentran el aumento de la temperatura de nuestro planeta y, como consecuencia, el derretimiento de los glaciares (principalmente en la región ártica); la elevación del nivel del mar, y de su temperatura; mayor cantidad e intensidad de tornados y huracanes, y sequías y golpes de calor, entre otros. Varios de estos fenómenos, a pesar de su aparición gradual y continuada, pueden ser analizados como acontecimientos pues, como indicios de cambio, poseen las características propicias para ello: manifestación espaciotemporal puntual, son perceptibles gracias a las mediciones científicas o a su impacto en el sistema sensorial de las personas, así como en el cambio de hábitos y expectativas de éstas ante la volatilidad de su aparición.

El comportamiento del agua –que pasa del estado sólido al líquido en los glaciares, que golpea con mayor fuerza en forma de

tormenta, o que se ausenta por periodos cada vez más prolongados— conforma uno de los conjuntos de indicios más evidentes de los cambios en el planeta y es, también, una de las tematizaciones más recurrentes en el cine contemporáneo con resonancias medioambientales. En las narraciones fílmicas que basan sus relatos en el agua, ésta no puede verse únicamente como un recurso natural indispensable para la vida, ya que en el mundo de la representación y los imaginarios sociales el agua es también un componente cultural que contribuye en la articulación simbólica de la vida humana. De acuerdo con Martos Núñez y Martos García:

[...] incluimos dentro de la cultura del agua manifestaciones tales como los mitos, ritos, refraneros, formas de organización, cultura material / artefactos o tecnologías hidráulicas (por ejemplo, barcas u otros artefactos de navegación). Entre los ancestros, el agua no es un recurso más sino algo que nuclea la comunidad, que organiza sus modos de vida —al asentar poblaciones siempre cerca de sus márgenes— así como sus imaginarios. Por consiguiente, la cultura del agua no se puede reducir a la cultura hídrica en el sentido moderno, el uso y gestión de aguas, sino que debe abarcar más bien todos estos fenómenos que hoy se ponen en valor gracias a la nueva conciencia ecológica (Martos y Martos 2013, 72).

Un enfoque ecocrítico, como el que aquí se propone, debe tomar en cuenta estas dimensiones de la cultura del agua, pues así será posible acercarse gradualmente a la comprensión de las determinaciones y condicionamientos entre los seres humanos y el ecosistema del que forman parte. La exploración de las diferentes codificaciones fílmicas del acontecimiento climático que a continuación se presentan pretende contribuir a lograr este objetivo, al tener en cuenta que cualidades y estrategias de géneros cinematográficos y de enfoques regionales diversos son fundamentales para explicar por qué las representaciones de un mismo fenómeno son distintas a pesar de referirse al mismo conjunto de acontecimientos. Como

lo recuerda Adrián Ivakhiv, el cine es una máquina para producir y revelar mundos y como analistas podemos:

[...] hablar del mundo que se revela o produce en una obra cinematográfica y podemos hablar de la relación entre los mundos así producidos y el mundo fuera del cine [...] Tanto lo cinematográfico como lo real son intrínsecamente plurales, procesales y divergentes, y cada uno es percibido de formas diferentes por observadores diferentemente situados [...] Los mundos ficticios son versiones simplificadas de mundos culturales reales (Ivakhiv 2013, 91-93).

En este tenor, comprender el cine como un instrumento discursivo para la producción y la revelación de mundos, ayuda a evidenciar que las descripciones fílmicas de estos mundos constituyen visiones que son propuestas o impuestas al *otro* que las interpreta. Diversas codificaciones fílmicas se servirán de modos diversos de organización discursiva, siguiendo una cierta racionalidad narrativa y argumentativa.<sup>5</sup>

### **El cine espectacular y el cambio climático**

Muchas son las producciones comerciales que, a través del género de acción y la abundancia de efectos especiales –principalmente–, muestran la devastación que el cambio climático podría producir en el planeta. Entre las películas más relevantes al respecto o que, por lo menos, tienen elementos temáticos, discursivos o visuales con valores ecológicos, se pueden incluir *Mundo acuático* (*Waterworld*, Kevin Reynolds 1995), *Niños del hombre* (*Children of men*, Alfonso Cuarón 2006), *Elysium* (*Elysium*, Neill Blomkamp

5 Tanto el par propuesta/imposición de las visiones como la idea de que sus descripciones siguen racionalidades narrativas y argumentativas diversas son ideas retomadas del estudioso del discurso Patrick Charaudeau (2011), pero adaptadas a la materialidad expresiva del cine, ya que el autor las emplea para explicar la puesta en discurso de efectos emocionales desde una perspectiva enunciativa.

2013), *Mad Max furia en el camino* (*Mad Max fury road*, George Miller 2015) y *Geo-tormenta* (*Geostorm*, Dean Devlin 2017).

Sin embargo, la película ficcional hollywoodense emblemática sobre el cambio climático es *El día después de mañana* (*The day after tomorrow*, Roland Emmerich 2004). La acción del filme comienza siguiendo al paleoclimatólogo Jack Hall, autor de investigaciones sobre patrones históricos del comportamiento del clima, quien advierte que la Tierra podría entrar en una nueva era glaciaria. Pronto aparecen indicios de que este fenómeno está comenzando; una red de científicos y especialistas se percatan de ello, pero la velocidad con que acontecimientos como grandes huracanes, granizo gigante y el aumento del nivel del mar ocurren (iniciando en región Ártica y con manifestaciones violentas en India, Escocia, Japón y ciudades como Los Ángeles y Nueva York) deja poco margen para reaccionar. Hall advierte al vicepresidente estadounidense de los riesgos, pero cuando recibe la atención debida la mitad norte del país se congelará inevitablemente. El resto del filme versará sobre la heroica excursión de Hall hacia el desastre para rescatar a su hijo, así como los esfuerzos de este último y sus amigos para sobrevivir mientras lo esperan. La trama tiene dos ejes conductores: la explicación de científicos y especialistas, acompañados por sujetos en el poder y sus acciones para poner a salvo a la población, y el de sujetos cualquiera, con afectos y ganas de seguir viviendo.

De este modo, puede decirse que la dinámica de representación propia del cine de Hollywood se centra más en la acción que en los estados (situaciones duraderas y habituales). La velocidad de los sucesos (la inminencia de la inundación, la posibilidad de que los personajes se congelen de manera instantánea por el descenso drástico de la temperatura, la ausencia de comida y medicamento o el acecho de animales salvajes) y la necesidad inmediata y constante de sobrevivir es más importante que la explicación de las causas de los acontecimientos o de sus consecuencias en un mediano plazo. El apremio se impone a la razón, la estabilidad de

la vida cotidiana y sus certezas desaparecen cuando la narración *explota*, dejando espacio sólo para tramas de poca complejidad: el escape o el rescate para la conservación de la vida propia, de las personas queridas, de la nación o del mundo entero.

El cine espectacular de Hollywood<sup>6</sup> tiene una lógica de construcción del espacio global-estadounidense, pues el acontecimiento climático que amenaza al mundo entero deberá resolverse en las grandes ciudades norteamericanas y de acuerdo con los valores estereotípicos de su ideología: heroísmo, libertad, estilo de vida americano y el supuesto compromiso del gobierno nacional para velar por el bienestar planetario. Se trata de proteger el presente y el futuro posible de “la gente que importa”.

La visualidad y el ritmo de estos filmes son hiperbólicos, y la profusión de imágenes y obstáculos parciales a resolver nos distraen de la gran problemática de fondo. En el mismo sentido, la presencia de personajes sintientes y tramas románticas paralelas ponen al espectador en una encrucijada entre la conciencia de la catástrofe (la posibilidad de su ocurrencia en la vida real) y el disfrute catártico de los finales felices, que liberan la tensión narrativa y permiten el reposo cognitivo tras poner a salvo a individuos representativos, pero no a la humanidad.<sup>7</sup>

6 Aquí se entiende el cine hollywoodense de acuerdo con la doble caracterización previamente realizada en “Los límites ideológicos de la representación realista cinematográfica en el cine digital”, según la cual “en primer lugar, es el que recurre prácticamente en su totalidad al moderno montaje informatizado en secuencia y en cuadro, digamos que ha canonizado una forma de visualización del mundo a partir de la imagen y el sonido digital; en segundo, al ser el cine que más se consume en todo el mundo, sigue difundiendo algunas veces de modo difuso, y otras en franco descaro, formas de ser y de existencia no sólo apegadas a un modelo de ciudadano idealizado, resultado del capitalismo contemporáneo, sino políticamente correcto en sus valores y comportamientos respecto a las instituciones de ordenamiento de la realidad: el Estado, la familia, los partidos políticos o la religión, entre otras” (Castellanos y García 2013, 128).

7 Stephen Rust realiza, desde una perspectiva distinta a la de este texto, un interesante análisis de las características y repercusiones de *El día después de mañana*. Una de sus ideas principales sobre el filme es que algunas de sus escenas tienen “el potencial de inducir a los espectadores a una consideración conceptual / sensual de las relaciones entre la cultura humana y el entorno global” (Rust 2013, 200).

En el otro polo, empleando la estrategia del futuro distópico, el cine espectacular se apropia de los problemas ecológicos en filmes como *Mad Max, furia en el camino*. Ante el agotamiento de los recursos naturales, el relato ocurre en un mundo desértico, donde los seres humanos se agrupan en tribus semisalvajes que luchan con el único objetivo de conseguir agua. Las peores formas de ejercer el poder se conjugan en estas comunidades ficticias: la esclavitud, el machismo y el control de unos cuantos sobre los insumos mínimos para la subsistencia, en una clara metáfora sobre el destino de todos si no se logra una conciencia ecológica. La búsqueda de un oasis pasa a segundo plano y el exotismo de los vehículos y las armas, las peleas y explosiones constantes, mantienen al espectador –como en el ejemplo anterior– absorto en las descargas de adrenalina. De nueva cuenta, la salvación es posible para unos cuantos: aquellos que llevan sus acciones por encima de los límites físicos y emocionales verosímiles, haciéndose merecedores de la etiqueta de héroes.

Más allá del disfrute ocasionado por la visualidad espectacular y las explicaciones hiperbólicas sobre los acontecimientos climáticos, ambos ejemplos comparten una idea valiosa: las relaciones de poder están en riesgo en un mundo al filo de la catástrofe natural. Quienes concentran el control de los recursos naturales, las naciones poderosas o los tiranos ven amenazadas sus posiciones ante acontecimientos que escapan de su control. Esto es una muestra de las dimensiones simbólica, social, cultural y económica que el ambiente tiene sobre la configuración del mundo.

### **Eco-ficción, identificación y conciencia**

En el camino trazado en este artículo hacia la codificación del acontecimiento climático en el cine documental mexicano, es necesario detenerse brevemente para hacer referencia a producciones filmicas que se encuentran, por las características de sus contenidos y formas, entre las películas espectaculares y los llamados filmes de realidad. En la eco-ficción se pueden englobar

todo tipo de textos que se sirven de las cualidades expresivas de la literatura y el cine con la intención de difundir saberes en torno al medio ambiente. De acuerdo con Tonia Requejo (2013) pueden establecerse dos niveles en la construcción de la conciencia ecológica: el de las investigaciones científicas y un nivel del imaginario que podría llamarse “ecología de ficción” o “eco-ficciones”,<sup>8</sup> cuyos niveles de fantasía van de la ficción más fantasiosa hasta otra altamente factible.

Los productos eco-ficcionales no corresponden necesariamente a los géneros de la divulgación científica ni emplean sus estrategias para *transmitir* un mensaje, sino que, al ser parte de la producción simbólica o cultural, se alejan de la exposición de verdades verificadas (según el método científico) y se centran en situaciones que los espectadores puedan vincular con sus referentes vivenciales. La mayoría de las películas que se pueden etiquetar como eco-ficcionales se ubican en un tiempo y espacio *post-acontecimiento*, y plantean al espectador escenarios propicios para que se detenga a reflexionar qué pasará cuando... (se termine el agua, la tierra sea inhabitable, el alimento sea insuficiente, etcétera). De manera congruente, los personajes no están confrontados con la inminencia del acontecimiento climático, sino con

8 Se trata de un conjunto de textos ficcionales que toma como base, en buena medida, el material que la ciencia divulga. Las superproducciones hollywoodenses siguen esta lógica, pero, al inscribirse en las dinámicas comerciales de la industria del entretenimiento, sus objetivos están más relacionados con la recaudación económica que con la creación de conciencia o la difusión de los problemas con miras a su instalación en el imaginario ecológico. Por ello, en el presente artículo son presentadas separadamente. Para la autora, la eco-ficción es importante por las siguientes razones: “la divulgación de los conocimientos científicos, por muy verdaderos que sean, adolece de la seducción emocional que tienen las narrativas de suposición pues éstas llegan a un gran público, y lo que es más curioso, son más efectivas a la hora de propiciar cambios de hábitos y comportamientos personales. En definitiva, el imaginario ecológico puede resultar mucho más influyente que la ciencia a la hora de crear una conciencia ecológica en la mentalidad de los ciudadanos; pues si la ciencia da cuenta de los hechos y analiza en consecuencia con argumentos racionales, el imaginario nos seduce emocionalmente al trabajar con la empatía y los deseos de proyección simbólica” (Requejo 2013, 2-3).

la complejidad de sus consecuencias sociales. Se trata de narraciones acerca del nuevo estado del mundo y las adversidades que este nuevo estado supone; al bosquejar las posibilidades distópicas de forma verosímil le dicen a su público: es necesario cambiar la relación con el ambiente para evitar estas adversidades.

En México, la mayor parte de los filmes eco-ficcionales corresponden al segmento de corta duración,<sup>9</sup> y se sirven de codificaciones genéricas variadas para transmitir su idea central. A continuación, se describen tres cortometrajes relacionados directamente con la escasez de agua.

El primero de ellos es *La leche y el agua* (Celso García 2006) que, en tono cómico trágico, muestra a una anciana que vive en una pequeña casa en medio de un paisaje desértico con una vaca como única compañía. El pozo está seco y la leche que la mujer ordeña es fundamental para su subsistencia. Un día comienza a llover y el agua cae tan abundantemente que inunda la cercanía de la casa, dejando a la vaca en un pequeño islote, por lo cual la mujer ya no puede alcanzarla. Hay un planteamiento paradójico en el que un bien escaso (el agua) y su comportamiento inesperado priva al personaje de otros recursos necesarios para sobrevivir (los nutrientes de la leche, en la dimensión física, y la compañía que la vaca representa para la anciana, en lo social). En este caso, la lluvia, casi bíblica, es también una forma de acontecimiento climático.

9 Las causas pueden ser que el planteamiento de una anécdota como escenario posible es suficiente para cumplir con el propósito de generar la reflexión de los espectadores o, bien, podría deberse a la escasez de financiamiento para películas que no representan ganancias comerciales. Un ejemplo de largometraje eco-ficcional es la coproducción entre México y Estados Unidos *Sleep dealer* (Alex Rivera 2008). En la frontera entre el cine espectacular y las historias que buscan la generación de conciencia, este filme muestra un futuro en el que los pobladores mexicanos no pueden acceder al agua, que es resguardada a través de mecanismos automáticos, por lo que la relación que se tiene con la tierra a través de la agricultura es más un recuerdo que una actividad productiva. Además, esta película aborda otros aspectos sociales como el teletrabajo mecanizado que supone una forma de esclavitud a distancia, en la que no es necesario que los trabajadores crucen la frontera para someterse a la explotación requerida por la industria estadounidense.

El segundo ejemplo es *Manantial* (Federico Novelo y Gabriela Govela 2008). Éste se trata de una animación acerca de una anciana que sale –seguida por su nieto– para conseguir agua; la distancia que recorren es larga y la duración del recorrido posibilita que las imágenes mostradas se superpongan e intercalen con otras en las que es posible observar a la misma mujer yendo por agua, joven y rodeada de un paisaje verde y bello. Al llegar al lugar de la recolección de nuevo estamos en un entorno gris; al fondo se observa un conjunto de edificios, indicio de una gran ciudad; hay un tubo que se rompe súbitamente, ocupando el espacio que debió, en el pasado que el recorrido evoca, pertenecerle a un río. Este filme, además de la falta de agua y la nostalgia de tiempos mejores, hace referencia a la concentración de los recursos y el privilegio en el acceso de la población urbana sobre la marginal.

En tercer lugar, tenemos *El día menos pensado* (Rodrigo Ordóñez 2004) que presenta a una pareja de ancianos como personajes centrales. Mientras el hombre se dedica a vigilar –fusil en mano– la poca agua que queda en el tinaco, la mujer se preocupa por cuidarlo a él y esperar, frente al televisor, noticias que sugieran un cambio en sus condiciones de vida. Un día el agua se termina y se ven forzados a dejar su casa para buscar el recurso vital, aunque deban enfrentarse en el exterior a peligros en los que se incluyen otras personas, quizá más desesperadas que ellos.

Como hemos visto, este tipo de eco-ficción aprovecha los saberes sociales y los reviste emocionalmente, a través de los mecanismos de identificación del cine, con la mirada (materializada por el punto de vista de la cámara) y con los personajes (la empatía no se limita a sentir pena por ellos, puede conducir a la pregunta: ¿qué haría yo en esa situación?).

### **Cine documental en México y acontecimiento climático**

Las reacciones del espectador cinematográfico ante una película ficcional y otra documental son diferentes, pues, mientras la primera pertenece a los mundos posibles, la segunda corres-

ponde a la mostración de los mundos actuales.<sup>10</sup> Es decir, quien interpreta un filme lo hace siguiendo una guía de lectura que le indica: lo que observas es imaginario o, en contraposición, lo que observas efectivamente ocurrió.<sup>11</sup> Esta indicación para la interpretación de los textos filmicos se suma a estrategias formales y argumentativas diversas que tienen el propósito de que los mundos de este tipo de cine luzcan reales, como la filmación en el lugar de los hechos, y la presencia de testimonios y documentos, entre otros, cuya selección y uso da pie a distintos tipos de filme documental, ya sea que se centren en mostrar, describir o argumentar acerca del tema que aborden.

Las tipologías más famosas de filmes de no ficción provienen de autores como Bill Nichols (1991) y Carl Plantinga (1997), siendo la de este último la perspectiva más adecuada para el presente enfoque. Plantinga se decanta por una clasificación que obedezca a los propósitos de las películas (se trata de una pragmática comunicativa) que se compone de las voces formal, abierta y poética.

10 Vásquez (2007) realiza una síntesis y explicación de la teoría de mundos posibles orientada al abordaje de textos que, como las películas, tienen diferentes niveles de posibilidad y actualidad. Para este autor: “Los textos contienen universos semánticos que pueden ser descritos como mundos. Los mundos del texto pueden hacer referencia al mundo real, en los textos que parten y retornan al mundo real, o pueden producir mundos posibles, contrafácticos, alternativos. Es el caso de los textos de ficción, que están especializados en la construcción de mundos comunicables, pero no habitables. Los mundos posibles del texto son construcciones culturales, mundos de papel, cuyo espesor real es puramente semiótico. Como producciones de la imaginación humana no son desdeñables, pues al distanciarse de las limitaciones del mundo real, nos permiten contemplar nuestros anhelos, sueños o posibilidades. Por otra parte, al retornar desde ellos al mundo cotidiano, contribuyen a iluminarlo, a percibirlo desde una óptica diferente [...] En realidad, la actividad esencialmente humana es la construcción de mundos y a ella se aplican las construcciones culturales, científicas y mitológicas, entre otras (Vásquez 2007).

11 La reconstrucción de las discusiones históricas para definir el cine documental es presentada por Carl Plantinga, quien señala que deberíamos interpretar el cine documental como una representación que afirma ser verídica. Según su visión, “cuando se indexa un filme como no ficción, se le indica al público que lo reciba como un vehículo para afirmaciones de verdad y un relato fotográfico y auditivo fidedigno de su tema” (Plantinga 2009, 502).

La primera de ellas es la más clásica, tiene el objetivo de explicar un conjunto de hechos o fenómenos planteando y responde preguntas específicas al respecto. El segundo tipo (voz abierta), más que preguntar, explora y observa; no pretende establecer autoridad epistémica sobre el tema que trata, y se asemeja al cine de arte en sus cualidades visuales y narrativas (no hay resolución de conflicto y propicia la contemplación). El tercer tipo, llamado voz poética, está más preocupado por la representación misma que por el carácter epistémico de actividades como explicar, mostrar y observar; además de que mantiene una especie de esteticismo epistémico (Plantinga 1997, 102-106).

Aunque en México son abundantes los ejemplos de películas documentales expositivas o de voz formal,<sup>12</sup> aquí, en congruencia con el enfoque ecocrítico, se opta por una obra con valores ecológicos innegables que refleja (sin obviedades ni dramatismo) las dimensiones simbólicas y culturales del agua; se trata de *Cuates de Australia* (Everardo González 2011), un filme que combina las características de las voces abierta y poética, y cuyo tema central no es el cambio climático, sino la vida cotidiana de una pequeña comunidad que se dedica a la ganadería en el estado de Coahuila. Puede decirse que, además de ser un documental, esta película está cerca de las codificaciones genéricas del *western* (película de vaqueros) y la *road movie* (de viaje).

El mundo narrativo de *Cuates de Australia* muestra la vida como un ciclo con pequeñas variaciones, y la actividad agropecuaria como eje: segar pastura, hacer pacas, alimentar a las reses; domar y castrar caballos; los niños van a la escuela, juegan, pelean; las parejas se enamoran, se casan, traen nuevos pobladores al ejido. Una de las constantes es el clima agreste; la variación más importante en esta cotidianeidad es que cada año tarda más en llover y la sequía obliga a los pobladores a dejar sus hogares –ganado incluido– para no poner en riesgo la vida de todos.

12 Entre estos se puede contar *Resurrección* (Eugenio Polgovsky 2016) y *Trece pueblos en defensa del agua, el aire y la tierra* (Francesco Taboada 2009).

Con destreza, González intercala los planos amplios que describen el entorno semidesértico y el estanque del que toman agua los habitantes, con sus testimonios, recolectados al interior de sus pequeñas casas. Una vastedad de referencias e intertextos culturales se tejen con el mundo de los hechos registrados en la imagen: la inocencia y temor de un niño, que dice haber visto el apareamiento de los caballos y que el macho parecía el diablo; un grupo de la escuela incapaz de encontrar su población en un mapa; otras personas que dicen que tienen agua suficiente, mientras observamos una cubeta cuyo contenido debe rendir para lavar la ropa y bañar a los niños, y los ancianos, casi sordos, que no saben por qué la rancharía se llama *Cuates de Australia*, pero afirman que dios es el que manda el agua, y que él sabe por qué todavía no la ha mandado.

La irrealidad de sus acciones sobre una tierra cada vez más seca hace evidente que su mundo no es el nuestro, pero ambos se visitan por momentos, tocándose. El encargado del censo poblacional se desconcierta ante las risas de las personas que entrevista: sus preguntas sobre ingresos, focos y enseres domésticos no tienen sentido; por otro lado, una pareja va a la ciudad para dar seguimiento al embarazo, hay poco líquido en el útero, la vida está en riesgo. Los personajes bíblicos, la ciencia representada por el médico y el Estado presente para contar lo que no puede cuantificarse, giran en torno a una comunidad que muestra a la vez la fuerza y la capacidad de adaptación del ser humano y su innegable fragilidad. La dualidad lluvia/sequía articula todo.

Llega el momento en que el éxodo es impostergable. Una caravana de pobladores deja el lugar convertido en un pueblo fantasma en medio de un ecosistema que continúa viviendo sin ellos; lagartos, insectos y aves presencian la muerte de un potrillo y su conversión en huesos. Los humanos, que no son sino una especie más, no volverán hasta que la lluvia caiga de nuevo; cuando esto finalmente ocurre el paisaje reverdece, aparecen corrientes de agua y el estanque vuelve a llenarse. El acontecimiento climá-

tico, ansiado por los habitantes de Cuates de Australia es la lluvia, indicio –casi sinónimo– de que la vida es posible. Esta analogía es constatada en el filme al coincidir con el nacimiento del bebé que vivió la sequía en el vientre materno. Las personas regresan, felices, a sus casas, dando continuidad a los ciclos de su existencia, esperando que la próxima sequía no sea tan prolongada.

La película realiza su labor de *desocultamiento* de mundos posibles y actuales. Las imágenes y sonidos que la componen develan una forma de vida completamente distinta a la de la mayoría de los espectadores, y les muestran personas como ellos, que piensan y sienten, de modo parecido a como ellos lo hacen, pero que tienen una experiencia completamente distinta, pues su vida se mueve al compás que el agua y su ausencia marcan.

*Cuates de Australia* confirma las ideas de Ivakhiv (2013) sobre el cine: es productor de territorios (geografías), de vida (su apariencia a través del movimiento) y de subjetividades (al mostrarnos personas y sus modos de vida). De acuerdo con este autor, estos tres *morfismos* “producen un mundo que es material en un extremo, social en el otro e intersubjetivo en el medio” (Ivakhiv 2013, 96). Los valores simbólicos y estéticos de este ejemplo son legibles como valores ecológicos e incitan a la reflexión sobre esos sujetos *otros* que presenta, sobre el *aquí* privilegiado de quienes no viven la sequía ni ansían una lluvia profusa y duradera.

La potencia lógica y estética del documental permite que, al reconocer las semejanzas de esos otros en sus creencias y fragilidades, los espectadores se reconozcan a sí mismos como seres condenados a la contingencia; por otro lado, permite también imaginar lo difícil de la vida que ocurre en la pantalla.

### **A manera de conclusión: codificación fílmica, riesgo y responsabilidad**

Como se ha dicho, la representación cinematográfica se efectúa en la convergencia de las actividades de reconocimiento e imaginación. A lo largo de este texto se han descrito las lógicas que,

para llevarla a cabo, son empleadas por tres codificaciones posibles de los fenómenos climáticos vistos como acontecimiento: contruidos en un nivel que supera el de su mera existencia y contempla sus interpretaciones simbólicas en función de las consecuencias posibles. En este contexto, el aporte del cine a la conformación de imaginarios ecológicos sobre el agua, sus manifestaciones y agotamiento es evidente. Sin embargo, es necesario exponer algunos aspectos problemáticos de cada estrategia de representación abordada.

En el caso del cine espectacular, que muestra la fuerza desbordada del mundo natural, tiende a la separación de hombre y naturaleza, lo que obliga a los humanos a luchar de forma heroica contra todo tipo de catástrofes climáticas. Además favorece el dualismo que la ecocrítica trata de vencer. Es decir, estos filmes son poco útiles para la reflexión sobre causas y consecuencias de los cataclismos posibles. La visualidad hiperbólica, realista, que lo muestra todo en el mayor detalle posible ocasiona una representación paradójica que es posible nombrar *una transparencia que oculta*, pues invisibiliza los problemas de fondo y las múltiples instancias de responsabilidad. Además, los personajes son sujetos atípicos, dotados de un heroísmo y conocimiento que difícilmente permite al cinéfilo promedio identificarse como agente de solución a los acontecimientos efectivos.

Los ejemplos aquí aportados de eco-ficción tienen como virtud la presentación de situaciones verosímiles y cotidaneidades semejantes a las del espectador, pero su discurso post-acontecimiento también invisibiliza las causas y deja al espectador, más que una explicación de los fenómenos que contribuya a un comportamiento racional, un miedo irracional a lo que podría ocurrir.

En el caso del documental, éste permite la identificación de los espectadores a partir de la develación de mundos actuales (existentes), afecta su sensibilidad al entablar un diálogo con sus diversos sistemas de creencias (religiosos, simbólicos, de la vida cotidiana, del acceso al agua) y, en filmes de voz abierta con rasgos

poéticos, como *Cuates de Australia*, deja recaer en el espectador la actividad inferencial para unir mundos, causas y consecuencias. A pesar de la potencia expresiva de este tipo de filmes, es necesario insistir en que su realización debe estar guiada por una ética de la representación sólida, pues su cualidad de realidad capaz de incidir en emociones y creencias lo requiere.<sup>13</sup>

En lo que respecta a la necesidad del análisis cinematográfico para fortalecer una perspectiva ecocrítica, se propone contemplar tres niveles de codificación indispensables que ayuden a la comprensión de los valores ecológicos presentes en cualquier filme y su relación en un sentido amplio con la representación y el imaginario: icónico, relativo a la visualidad y las emociones que evoca; relacional, que integra la producción de territorios, vida y subjetividades con la codificación icónica (una retórica fílmica), y, por último, el simbólico, que integra explicaciones científicas, saberes cotidianos y testimonios de los sujetos representados acerca de las causas y consecuencias de lo que aquí se ha descrito como acontecimientos climáticos.

## Referencias

- CASTELLANOS, V. y R. García. 2013. “Los límites ideológicos de la representación realista cinematográfica en el cine digital”. *Tramas. Subjetividad y procesos sociales*, n.º 39: 119-145.
- CHARAUDEAU, P. 2011. “La experiencia emocional y sus razones”. *Versión*, n.º 26: 97-118.

13 Con la intención de fortalecer una perspectiva ética del manejo del agua como recurso natural y bien simbólico, Aitana Martos (2018, 6) afirma que “se hace precisa una contranarrativa, que contrapesa las narrativas dominantes, es decir, la idea del agua como una mercancía que se debe comerciar y vender al mejor postor en el mercado abierto (Barlow, 2008: 27)”. Dicha nueva narrativa debería basarse en un conjunto de principios que contemplan la proclamación del agua como bien común, reivindicar el control comunitario sobre las fuentes de agua locales y adoptar un modelo fundado en la justicia respecto del agua, entre otros.

- GUERRERO, F. 2016. *¿Tenemos derecho a un futuro? Ecocrítica y ciencia ficción*. México: Paidós.
- INGRAM, D. 2013. "The aesthetics and ethics of eco-film criticism". En *Ecocinema theory and practice*, editado por S. Rust, S. Monani y S. Cubitt, 43-61. Londres/NuevaYork: Taylor & Francis.
- IVAKHIV, A. 2013. "An ecophilosophy of the moving image: cinema as anthrobiogeomorphic machine". En *Ecocinema theory and practice*, editado por S. Rust, S. Monani y S. Cubitt, 87-105. Londres/NuevaYork: Taylor & Francis.
- MARTOS, A. 2018. "El giro ontológico en las lecturas de la Naturaleza: propuestas de intervención didáctica". *Álabe. Revista de Investigación sobre Lectura y Escritura*, n.º 17: 1-19.
- MARTOS, E. y A. Martos. 2013. "Ecoficciones e imaginarios del agua y su importancia para la memoria cultural y la sostenibilidad". *Alpha. Revista de Artes, Letras y Filosofía*: 71-91.
- NICHOLS, B. 1991. *La representación de la realidad*. Barcelona: Paidós.
- PLANTINGA, C. 1997. *Rhetoric and representation in nonfiction film*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. 2009. "Documentary". En *The Routledge companion to philosophy and film*, editado por P. Livingston y C. Plantinga, 494-504. Nueva York: Routledge.
- REQUEJO, T. 2013. "La eco-ficción como materia no-visible del paisaje: Aspectos de la construcción utópica de la naturaleza". *Puerto Rico, puerta al paisaje*, 1-20. San Juan: Museo de Arte Contemporáneo de Puerto Rico.
- RIFFO, I. 2016. "Una reflexión para la comprensión de los imaginarios sociales". *Comuni@cción: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo* 7, n.º 1: 63-76.
- RODRIGO ALSINA, M. 1989. *La construcción de la noticia*. Barcelona: Paidós.
- RUST, S. 2013. "Hollywood and climate change". En *Ecocinema theory and practice*, editado por S. Rust, S. Monani y S. Cubitt, 191-211. Londres/NuevaYork: Taylor & Francis.

VÁSQUEZ ROCCA, A. 2007. "Semántica de los mundos posibles". *Cuaderno de Materiales*, n.º 21. Acceso el 2 de enero de 2019. <http://www.filosofia.net/materiales/num/num21/semantica.htm>.

## Conclusiones

Sazcha Marcelo Olivera Villarroel  
y Gustavo Sosa Núñez

México está expuesto a todo tipo de eventos climáticos extremos, desde sequías persistentes a ciclones tropicales, huracanes, rachas de lluvias extremas, olas de calor y frío y, en la última década, a sistemas polares que generan nevadas recurrentes en regiones montañosas de la zona norte del país. Esto pone a México en la lista de países con mayor exposición a peligros relacionados al clima. La generación de escenarios climáticos futuros, el desarrollo de modelos de predicción y las pruebas a los patrones climáticos presentes y futuros no muestran que estos eventos vayan a disminuir, sino todo lo contrario: se espera que se exacerbén y sus efectos sean más patentes en todos los ámbitos que se analizan en este libro.

La generación de patrones de análisis del clima se aborda desde dos perspectivas en este libro: una general, con la búsqueda de escenarios a nivel país, pero usando divisiones de orden administrativo como los municipios, y una de orden local, donde se analiza los aspectos particulares de regiones muy específicas como la cuenca o la región de Baja California, el valle de México o la frontera sur del país.

Entre las principales conclusiones se destaca que la región sur es la que muestra cambios de largo plazo en las variables climáticas de interés, es decir, precipitación y temperatura, además de

que muestra efectos conexos que deben ser abordados en futuras investigaciones (como los cambios en la generación eléctrica mediante hidroeléctricas o cambios en los patrones de infiltración de la cuña salina, que se analiza en un aspecto forestal en otra sección del libro). Además, el sector más impactado por el cambio de los patrones climáticos será la agricultura, ya que hay una serie de factores sinérgicos que incrementan las consecuencias de un cambio en los patrones climáticos. El primero es un aumento en las temperaturas tanto medias como extremas, lo que provoca, heladas y golpes de calor y, en su defecto, una mayor tasa de evapotranspiración, el decremento de la precipitación acumulada y, en contraste, el incremento extremo de las lluvias. Todo ello aunado a los cambios en las fuentes de agua superficial y subterránea como posibles fuentes de irrigación, así como los impactos de la actividad antrópica en el cambio de uso de suelo y la deforestación de amplias regiones, entre otros.

Estos cambios en los patrones climáticos muestran que, si no se generan políticas locales y regionales de un mejor manejo del material genéticos de semillas locales y endémicas de pequeños valles y regiones climáticas particulares, se pueden llegar a perder importantes acervos de semillas locales, por lo que en la investigación se sugiere movilizar la producción de este tipo de semillas en diferentes regiones climáticas más propicias para su producción. En este sentido, los estudios se complementan al mostrar patrones climáticos a nivel municipal lo que permitiría, a futuro, encontrar las mejores regiones para la producción de maíces según el tipo de semillas, y la disposición social y económica de cada municipio.

Un segundo aspecto analizado por los investigadores se centra en los cambios en hábitats específicos, entre ellos la elevación del nivel del mar y sus efectos sobre la distribución de manglares. En éstos se observa un cambio adaptativo a especies con mayor resiliencia a la salinidad. Si bien los efectos sociales de dicho cambio no han sido analizados, se espera que ésta sea una línea de investigación a ser desarrollada. Otros cambios en los hábi-

tats nos muestran la fragilidad de especies emblemáticas como la tortuga de agua dulce, la cual sufre transformaciones en su ambiente por el cambio de uso de suelo, el avance de la frontera agrícola, la deforestación y el cambio en los regímenes de los sistemas acuáticos. Dichos canjes ante escenarios de cambio climático sólo se exacerban; por lo que se esperan pérdidas de la masa forestal, alteraciones en los patrones de lluvia y, con ello, en los regímenes de caudal de los ríos.

Las perturbaciones en los patrones de lluvia nos llevan al siguiente tema de análisis del compendio de investigación: la relación entre estos modelos y las complejas relaciones con el proceso de infiltración de aguas subterráneas y su uso como fuente de agua potable. Éste es un caso paradigmático del cambio entre la relación de los patrones de uso a nivel hogar, institucional y empresarial y su dependencia de largo plazo con los patrones de distribución de lluvias en una región. La subordinación de más de 29 millones de personas de este recurso en el área que comprende la megalópolis de la Ciudad de México (con más de cinco estados incluidos en la distribución y uso de agua de las mismas fuentes superficiales y subterráneas) hacen de esta temática un foco de atención y de futuras investigaciones que van más allá de sus relaciones con el cambio de patrones de lluvia y merece mayor atención en sus repercusiones, sociales económicas y ambientales.

El factor hogar y su gestión del riesgo ante eventos extremos y manejo de recursos nos lleva a entender la importancia de la capacitación ante la ocurrencia de eventos extremos y el manejo diario de los recursos dependientes del clima. El análisis de la primera sección del libro nos muestra que aún son muy pocas las estrategias locales para enfrentar estos fenómenos y es necesario desarrollar canales adecuados para que la participación de la sociedad sea no sólo proactiva al evento, sino que considere al manejo del riesgo como parte de las estrategias de desarrollo a nivel hogar, comunidad y región. La generación de canales adecuados de participación incluye la concepción de procesos de gobernanza

de territorios necesarios, no sólo para afrontar las amenazas climáticas, sino para el manejo de los recursos de las comunidades.

El derecho humano fundamental de acceso a la energía eléctrica sustentable es otro tema tratado. Es el resultado de un análisis sistemático, coherente y congruente de las disposiciones constitucionales que garantizan el derecho a la vida y vivienda digna; el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de las personas, y el derecho al desarrollo integral y sustentable, al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y a las disposiciones constitucionales en materia de energía de 2013. El caso mexicano es útil para destacar este doble carácter que no se reconoce de manera uniforme en el planeta, aunque exista una base normativa internacional para ello.

Por su parte, están los derechos humanos como elemento central del impacto del cambio climático, y son cruciales para abordar y entender la ingeniería climática. De igual forma, se debe valorar la política de cambio climático del país, a fin de hacer frente al problema. La implementación es agenda pendiente y tiene áreas de oportunidad. Falta entendimiento del tema, sentido de urgencia para implementar acciones y apropiación del tema por parte de los actores involucrados.

En cuanto a la percepción de la ciudadanía, se observa su importancia para adecuar las estrategias de adaptación que permitan enfrentar con eficacia los impactos del cambio climático. Los resultados muestran que la población considera que el fenómeno está ocurriendo y que afecta de manera directa su vida cotidiana. Se sugiere que las principales causas que acentúan el problema en la ciudad son el uso de combustibles fósiles para el transporte y la industria, así como la deforestación. Los resultados de las investigaciones señalan que la mayoría de los encuestados perciben que este cambio afecta mayormente a la biodiversidad, que los impactos serán tanto en zonas rurales como en urbanas, y considera que el gobierno Federal debe tener un papel muy activo en la toma de decisiones. Además, considera que México no

está preparado para manejar los impactos del cambio climático. La investigación indica que la población percibe los efectos del cambio climático, sin embargo, no cuentan con la información para llevar a cabo medidas de adaptación. Asimismo, bajo su percepción, no se encuentran los beneficios que brindan los servicios ecosistémicos del estero, y que al verse afectados crece la vulnerabilidad ambiental y social.

Por otra parte, se observa que México tiene implícito un esbozo del mapa geopolítico de las expresiones artísticas con respecto al cambio climático; además de que se busca ser un impulsor societal que estimule el resurgimiento de otras expresiones propias de las tradiciones, y la ancestralidad de México.

En lo que respecta a la necesidad del análisis cinematográfico para fortalecer una perspectiva ecocrítica, se propone contemplar tres niveles de codificación indispensables que ayuden a la comprensión de los valores ecológicos presentes en cualquier filme y su relación en un sentido amplio con la representación y el imaginario: icónico (relativo a la visualidad y las emociones que evoca), relacional (que integra la producción de territorios, vida y subjetividades con la codificación icónica, una retórica fílmica), y, por último, la simbólica (explicaciones científicas que integran saberes cotidianos y testimonios de los sujetos representados acerca de las causas y consecuencias de lo que aquí se ha descrito como acontecimientos climáticos).

Por último, en esta obra se muestra la forma en que los efectos del cambio climático y la adopción de mejores prácticas de gestión ayudarán a lograr una resiliencia efectiva y una significativa seguridad alimentaria. Sin embargo, es preciso mejorar en infraestructuras, extensión, información sobre el clima, acceso al crédito y a seguros sociales, que forman el núcleo del desarrollo rural, además de fomentar la adopción de prácticas sustentables y la diversificación de los medios de vida rurales.

Es necesario un modelado de los impactos para definir y asegurar mejor las estrategias adaptativas particulares para México,

ya que el cambio climático tendrá efectos de gran alcance a través de la gestión del agua en la agricultura. Los impactos variarán considerablemente de un lugar a otro, pero surgirán de una combinación de condiciones menos favorables para el crecimiento de las plantas, como una mayor precipitación variable para zonas de temporal, una menor disponibilidad de agua para el riego y una mayor demanda de agua en los cultivos. Estas tensiones serán adicionales a las presiones para producir más alimentos con menos agua y menos degradación de la tierra ante el aumento de la población mundial y el cambio en las preferencias alimentarias.

Los esfuerzos de adaptación de innovaciones tienen un sentido económico y también un potencial considerable para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la agricultura, la actividad forestal y el cambio de uso de la tierra. Aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, reducir la utilización de combustibles fósiles y evitar la degradación ambiental directa ahorrará dinero a los agricultores, aumentará sosteniblemente la productividad y reducirá la dependencia de insumos externos, de acuerdo con la FAO.

Estas acciones son fundamentales para reducir la pobreza, asegurar la producción de alimentos y garantizar el rendimiento de los cultivos, así como la conservación del agua para uso humano que beneficie a muchas personas que viven en las zonas rurales y urbanas. En esta época donde los efectos de cambio climático son más visibles y sin precedentes, la disposición para estructurar políticas gubernamentales óptimas en cuestiones de la gestión del agua permitirá proporcionar una producción sustentable de alimentos de calidad adecuada, inocua y nutritiva. Es decir, la seguridad alimentaria y el agua están estrechamente relacionadas.

Es así como esta obra advierte del impacto del cambio climático en distintos ámbitos de las ciencias naturales, ciencias sociales, el arte, la percepción social y el estudio de los sistemas socio-ecológicos. La investigación interdisciplinaria que se da en

México sobre el tema es sustancial, y queda en evidencia la necesidad e importancia de fomentar el diálogo entre ramas de estudio para continuar en la búsqueda de las mejores estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático. Lo anterior, al tomar en consideración la urgencia de acciones y la importancia de insistir en tratar al cambio climático como un problema intersectorial y no meramente como un tema ambiental. De ahí la relevancia de reforzar la interacción ciencia-sociedad, pues es necesario superar la desinformación y el desconocimiento existente en la población, a fin de contribuir a generar una conciencia ambiental y climática indispensable para el desarrollo de la resiliencia, el cambio de cultura y la adaptación a los retos que plantea el cambio climático, ya irreversible, en México y el planeta.



*Impactos del cambio climático:*

*una visión desde México*

Versión electrónica

Marzo de 2022

En su formación se utilizó la tipografía  
Scala Offc Pro y su variante Scala Sans Offc.

# IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA VISIÓN DESDE MÉXICO

---

La naturaleza multidisciplinaria del presente libro da lugar a facilitar el entendimiento de los impactos del cambio climático desde múltiples puntos de vista y ayuda en la formulación de una apreciación sistémica del fenómeno. Si bien se incorpora el cambio climático en planes gubernamentales y de otras organizaciones mexicanas, el proceso de formulación y su implantación requiere de constante actualización en función de nueva información y conocimientos. Dicha información puede ser sobre aspectos del cambio climático, anteriormente desconocidos, de proveer mayor certidumbre sobre los efectos o de enfoques nuevos. En este sentido lo académico es de gran importancia para informar, tanto a los responsables de la formulación de planes y políticas para enfrentar, mitigar o reducir el cambio climático, como para el ciudadano quien, en el ejercicio de su responsabilidad democrática de participar en el debate y discusión pública, necesita de fuentes de conocimiento confiables e independientes.

A través de un libro se permite la incorporación de un número grande de diversos aspectos del tema. Es usual que cada especialista entienda desde su conocimiento profundo aspectos puntuales del impacto del cambio climático. Sin embargo, para proponer, diseñar e implementar políticas que pretendan enfrentar los efectos del cambio climático y/o reducir tal cambio, se requiere de un conocimiento y visión de lo interconectado o sistémico del proceso que se quiere analizar. Sin tal visión, se corre el riesgo de implantar acciones cuyas consecuencias sean peor que el mal que se pretende subsanar.

No solamente es importante que tomadores de decisiones de políticas públicas y de organizaciones no gubernamentales tengan conocimiento de manera integral de los impactos del cambio climático en México. También es crucial que los especialistas científicos tengan conocimientos de los efectos del cambio climático fuera de su campo de especialización. Sobre todo, quienes tengan un papel de diseñar o desarrollar herramientas – relacionadas a los artefactos, sistemas e infraestructura que trascenderán varios periodos de administraciones políticas – encontrarán el enfoque actualizado y de puntos de vistas desde diversas disciplinas de este libro, de gran ayuda. El presente trabajo sembraría una semilla de la percatación necesaria para entender la esencia del pensamiento unificado imprescindible para lograr medidas exitosas con el fin de enfrentar el cambio climático.

