

CAPÍTULO IX

CAMBIO CLIMÁTICO Y SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

Ricardo Iván CRUZ CANO*

SUMARIO: I. *Introducción*. II. *El marco de los sistemas socioecológicos*. III. *Servicios ecosistémicos*. IV. *Efectos del cambio climático en los sistemas socioecológicos y sus componentes*. V. *Vulnerabilidad y resiliencia en los sistemas socioecológicos*. VI. *Conclusiones*. VII. *Bibliografía*.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, es más común y familiar escuchar o ver en los distintos medios de comunicación/difusión noticias que hacen alusión al cambio climático; sin embargo, es un término que genera sentimientos e ideas contrarios, ya que, por una parte, algunos argumentan que es un invento cuyo objetivo es justificar acciones con tintes comerciales y políticos, mientras que, por otra, está el grupo de personas que afirman que nuestras acciones, patrones de consumo y modelos de desarrollo global han tenido efectos significativos sobre la dinámica planetaria.

Es bien sabido que, a lo largo de la historia de nuestro planeta, el clima ha cambiado como resultado de las complejas interacciones e interdependencias que se dan entre la posición del Sol y de la Luna, la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, la cubierta de hielo —tanto terrestre como marina—, la biota y, recientemente, las actividades humanas (IPCC, 2014; Gay y Rueda, 2015a).

El gran problema que enfrentamos en la actualidad es que estos cambios están ocurriendo con una mayor celeridad que los registrados en los últimos 500,000 años, vinculando este cambio a tasas mayores, con las actividades

* Maestro en Ciencias del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM; biólogo por la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM; profesor titular de la asignatura “Ecología y Conservación” en la carrera de Biología de la misma Facultad.

por parte del ser humano. Los seres humanos utilizamos los recursos (hábitat, energía y nutrientes, entre otros), que nos brinda nuestro planeta, para desarrollar y satisfacer nuestras funciones vitales; sin embargo, también desarrollamos una serie de actividades (productivas, comerciales, económicas, etcétera) a través de las cuales creamos bienes y servicios (algunas veces superfluos y excesivos para nuestra estabilidad y supervivencia como especie), provocando un desequilibrio tanto en nuestro sistema ecológico-social como en todos los demás ecosistemas de nuestro planeta. Un ejemplo de ello es que, después de la Revolución Industrial y hasta la fecha, como consecuencia de nuestras actividades, hemos alterado la composición química de nuestra atmósfera, al emitir enormes cantidades de gases de efecto invernadero, llegando a niveles más allá de las capacidades de recaptura por parte de la biósfera, la hidrósfera y la litósfera (IPCC, 2014; Gay y Rueda, 2015a).

El cambio climático es un problema ambiental muy relevante para nuestro país porque viene a sumarse, potenciando a los problemas ambientales y sociales que se presentan a lo largo de nuestro territorio. Las consecuencias, sin embargo, no serán las mismas para todos los países, independientemente de cuál haya sido su contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre las principales consecuencias que habrá, se señala que el cambio climático ocasionado por las actividades antropogénicas causará grandes cambios en la química del mar (disminución del pH), la productividad marina y el incremento de zonas del mínimo de oxígeno, con efectos en la distribución de recursos biológicos y que, a su vez, afectarán el intercambio de dióxido de carbono (CO₂) entre la atmósfera y el océano. Estos temas, sin duda, generarán preguntas fundamentales que tendrán como uno de sus retos principales el entender las condiciones que se verán alteradas en los distintos sistemas ambientales como consecuencia del cambio climático (IPCC, 2014; Gay y Rueda, 2015a; Gay y Rueda, 2015b).

Para poder lidiar con estos efectos potenciales, se requiere de una estrategia integral de desarrollo sustentable, mediante la cual la sustentabilidad ecológica informe y condicione las actividades de todos los sectores del gobierno, de la economía y de la sociedad, a fin de que actúen en conjunto, con una visión y una misión compartidas, para así aprovechar sinergias y crear oportunidades. Un ejemplo de esto es que, ante el fenómeno del cambio climático, se necesitan disminuir las condiciones de vulnerabilidad y riesgos de las áreas urbanas a través de medidas de adaptación concretas, acciones que adquieren mayor importancia si partimos de que los asentamientos humanos en las zonas urbanas de México representan el 77.8% del total de la

población urbana, es decir, 87,397,827 personas, según reporta el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (IPCC, 2014; Gay y Rueda, 2015b).

II. EL MARCO DE LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

Debido a que nuestra sociedad no se encuentra exenta ni aislada de los efectos que se dan en los sistemas ambientales como consecuencia del cambio climático, es necesario entender o visualizarnos dentro de este contexto y dinámicas, empleando la perspectiva de “sistema complejo”. Este tipo de sistemas se caracterizan por estar compuestos de varias partes “interconectadas” o “entrelazadas”, cuyos vínculos crean información adicional no visible antes por el observador. Como resultado de estas interacciones entre sus elementos, surgen propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados. Dichas propiedades se denominan “propiedades emergentes”. Para describir un sistema complejo hace falta no sólo conocer el funcionamiento de las partes, sino también conocer el funcionamiento del sistema completo una vez relacionadas sus partes entre sí, así como sus procesos, retroalimentaciones y dinámicas (Ortega *et al.*, 2014; Castillo-Villanueva y Velázquez-Torres, 2015).

La visión de los sistemas complejos asume que los sistemas sociales y los sistemas ecológicos son interdependientes y no lineales, con retroalimentaciones en diferentes niveles que permiten al sistema autoorganizarse, adaptarse continuamente y cambiar de una manera impredecible. Dicha consideración de que los sistemas sociales y los sistemas ambientales no se encuentran separados permite tener una perspectiva más real de la complejidad de nuestros sistemas (Ortega *et al.*, 2014).

Considerar la resiliencia de los sistemas complejos puede entenderse como una aproximación para organizar y manejar los sistemas socioecológicos (SSE) mediante un énfasis en la capacidad de renovación, reorganización y desarrollo, en donde los disturbios (por ejemplo, eventos climáticos extremos) son parte de la dinámica del sistema y representan oportunidades para el cambio. La resiliencia pone énfasis en las múltiples formas en que un sistema puede responder ante los impactos, incluyendo la habilidad para absorber dichos impactos, aprender de ellos, adaptarse y recuperarse, así como reorganizarse después del impacto (Ortega *et al.*, 2014).

El enfoque de los SSE es un modelo para entender las múltiples relaciones e interacciones que tiene la sociedad con la naturaleza. Este tipo de sistemas son complejos y se caracterizan por tener varios componentes in-

terconectados que involucran flujos de materia y energía (Ortega *et al.*, 2014; Castillo-Villanueva y Velázquez-Torres, 2015). Los SSE son una concepción multidisciplinaria para estudiar las relaciones del ser humano con la naturaleza, considerando las interacciones, las retroalimentaciones, así como los flujos de materia y energía que se dan entre sus componentes.

Es necesario identificar los componentes y regiones de los SSE más vulnerables a estos cambios para poder entender la complejidad de las interacciones de las partes sociales con las ambientales, los componentes más susceptibles a ser alterados, los costos posibles de cada alternativa de manejo elegida, y así poder tomar decisiones y hacer planes de manejo que tengan sustento en la información generada y diseñar estrategias de adaptación que no comprometan la funcionalidad de los ecosistemas, pero tampoco los beneficios obtenidos de ellos para ayudar a los usuarios dependientes de dichos servicios brindados por los ecosistemas, y a los tomadores de decisiones a dirigir esfuerzos, planes de manejo e instrumentos adecuados para un uso más apropiado y sustentable de estos servicios.

III. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Uno de los enfoques para estudiar los SSE que ha adquirido mucha atención es a través de los servicios ecosistémicos (SE), definidos como los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas, tanto directa como indirectamente. Este término surgió con la finalidad de definir un marco para estructurar y sintetizar el entendimiento biofísico de los procesos en los ecosistemas y sus implicaciones en el bienestar del ser humano.

Las condiciones y los procesos que conllevan a la producción de SE están tan estrechamente relacionados que es difícil categorizarlos. Sin embargo, se ha propuesto dividirlos en cuatro categorías: provisión, regulación, culturales y soporte.

Dichas categorías proveen bienes a distintos niveles del SSE y tienen tres características muy importantes para su seguimiento y evaluación que tanto los científicos como los tomadores de decisiones y los beneficiarios de los servicios deben considerar; dichas características son la variabilidad del ecosistema, la resiliencia y los umbrales (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Brauman *et al.*, 2007; Gómez-Baggethun *et al.*, 2010; De Groot *et al.*, 2010).

La primera característica (la variabilidad en los SE) consiste en los cambios de los valores o flujos de éstos a través del tiempo debido a factores estocásticos, intrínsecos y/o extrínsecos, mismos que deben ser analizados uno a uno, con la finalidad de entender el comportamiento del sistema de forma

adecuada. Aquella variabilidad estocástica se debe a factores aleatorios e incontrolados, que crean una variabilidad que a menudo es considerada como “ruido” en el comportamiento del sistema. Por otra parte, la variabilidad intrínseca se debe a las propiedades estructurales de un ecosistema, como las oscilaciones en los sistemas en los cuales la depredación o las enfermedades regulan los números poblacionales. Por el contrario, dentro de la variabilidad extrínseca, generada por fuerzas externas al sistema, se puede encontrar la estacionalidad en los sistemas templados y en los sistemas climáticos de mayor duración, como los ciclos de El Niño-La Niña.

La segunda característica de los SE (la resiliencia) es a menudo considerada como una medida de la habilidad de un sistema para regresar a su estado original después de una perturbación, es decir, una desviación en las condiciones que está fuera del intervalo que suele experimentar el sistema. Cuando la duración de la fase de recuperación es corta en comparación con otros sistemas, se dice que el sistema estudiado suele ser más resiliente que otros.

La tercera característica (los umbrales en los ecosistemas) representan desviaciones dramáticas y usualmente repentinas más allá del comportamiento promedio del sistema. Dichos cambios dramáticos, también conocidos como cambios de régimen, cambios catastróficos o estados estables alternativos, a menudo son anteceditos por un cambio estacionario en las condiciones internas o externas que incrementan la susceptibilidad de un sistema para ser disparado hacia un estado alternativo.

Cuando se habla de este enfoque de estudio hacia los SE, es fundamental observar aquellas conexiones con los distintos niveles, componentes y procesos de la funcionalidad de los SSE. Tal es el caso de los servicios hidrológicos (SH), que son de vital importancia en la dinámica de cualquier SSE, ya que suelen ser un elemento clave para su funcionalidad, teniendo efectos en múltiples categorías: aporte de agua/provisión, cuerpos de agua/provisión y cultura, ciclo hidrológico y vapor de agua en la atmósfera/regulación (Pérez-Verdín *et al.*, 2012).

Además de ser un punto central de las interacciones de los SSE, el sistema hidrológico es un sistema de alta conectividad ecológica. A diferencia de otros tipos de servicios, el agua se mueve a través de las cuencas y está influenciada por cualquier ecosistema por el que pase; es decir, cualquier ecosistema en contacto con una cuenca afectará los atributos del agua que pase a través de ella, por lo que es de suma importancia entender la provisión, sus flujos y los usuarios de estos servicios. Desde esta perspectiva, es importante entender el papel del sistema hidrológico como un sistema capaz de conectar diferentes ecosistemas y las implicaciones para su uso y beneficio

(Brauman *et al.*, 2007; Gómez-Baggethun *et al.*, 2010; De Groot *et al.*, 2010; Pérez-Verdín *et al.*, 2012; Harrison-Atlas *et al.*, 2016).

A pesar de la importancia y los efectos que tiene el agua en los SSE, el mal manejo, la deficiencia en la planeación y la falta de información por parte de la sociedad han ido deteriorando, alterando y degradando las características de este servicio, como lo son la cantidad, la calidad, la temporalidad de aporte y el lugar de aporte. Con esto se compromete negativamente la integridad de los ecosistemas, así como la disponibilidad y el aprovechamiento que se les da, afectando de esta manera el bienestar y el aprovechamiento sustentable de los usuarios de estos servicios, por lo que se incrementa su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático (Metzger *et al.*, 2006; Brauman *et al.*, 2007; Ávila, 2008).

Hoy en día, los SE se están vinculando y considerando en la toma de decisiones a través de la amplia promoción de instrumentos para la conservación: por una parte, los instrumentos basados en el mercado, como son los mercados para servicios ecosistémicos o los llamados “esquemas de pagos por servicios ambientales”, y, por otra parte, aquellos instrumentos con enfoques más regulatorios y de valuación no monetaria, como el Convenio de Diversidad Biológica y sus metas de Aichi, o la recién operativa Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas. En todos los casos, es reconocido que el concepto de los SE todavía enfrenta múltiples retos respecto a las necesidades de investigación y su aplicación en el apoyo a la política, así como a la determinación de responsabilidades respecto a sus pagos (Newell, 2008; De Groot *et al.*, 2010; Gómez-Baggethun *et al.*, 2010; Davidson, 2011; Muradian *et al.*, 2013; Mostert, 2015).

IV. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS Y SUS COMPONENTES

El marco de los SSE vuelve explícitas las complejas interacciones entre los ecosistemas y los servicios que proveen con el sistema social o los beneficiarios humanos. Sin embargo, es importante considerar y entender a profundidad estas interacciones y dinámicas, ya que la ausencia de información lleva a un mal manejo de los SSE, que compromete sus elementos e influye en su vulnerabilidad ante impactos y amenazas. En el caso de los sistemas ecológicos, definidos con criterios de composición, estructura y función, esto se refleja en una disminución en la cantidad y calidad de los servicios que proporcionan. Por otro lado, el sistema social tiene cada vez mayor demanda de estos

SE, a consecuencia del desmedido crecimiento poblacional a nivel global y regional, aumentando las dificultades hacia una gestión de los SSE que tenga como enfoque la sustentabilidad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Pérez-Verdín *et al.*, 2012).

Para poder entender y predecir estos impactos que pueden presentarse a lo largo del tiempo, se recurre al uso de escenarios y modelos climáticos. Los escenarios climáticos se desprenden de modelos numéricos del clima que asimilan el conocimiento actual, tanto en el estado reciente y presente del océano, la atmósfera y la tierra sólida como en las leyes dinámicas y formas de calcular su evolución temporal, que a la fecha se consideran las más precisas.

Los impactos o efectos que se presentarán como consecuencia del cambio climático son, en gran parte, desconocidos respecto a su intensidad, pero se han hecho algunas propuestas o predicciones a partir de datos duros recolectados a lo largo del tiempo. Uno de los principales componentes planetarios y, por ende, prestador de SE a nivel global, regional y local es el agua, en todas sus formas. Debido a su importancia en la determinación y regulación climática, el agua ha sido ampliamente estudiada y aplicada como una variable a considerar en los modelos.

Dentro de las tendencias y resultados que estos modelos arrojan, se ha encontrado que, en términos de las tendencias del calentamiento global, existe para nuestros océanos una enorme incertidumbre. Hacia el pasado reciente, se pueden identificar comportamientos diversos entre regiones: del lado del Pacífico, la costa occidental de la península de Baja California muestra una tendencia estable (sin calentamiento o enfriamiento); el Golfo de California exhibe una tendencia modesta de enfriamiento durante los últimos 20-25 años; la parte más oceánica del Pacífico mexicano en la confluencia con el Golfo de California denota un enfriamiento intenso; la región más tropical muestra un calentamiento intenso, y entre ambas regiones se forma una banda de transición sin tendencia. En el Atlántico, la parte noreste del Golfo de México se ha estado enfriando, en tanto que la parte oeste, junto con el Caribe, se han estado calentando de manera sostenida por lo menos durante los últimos 30 años (Metzger *et al.*, 2006; Ford *et al.*, 2011; Gay y Rueda, 2015a; Locatelli *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2015; Djoudi *et al.*, 2016; Palomo, 2017).

La presión que las actividades humanas imponen sobre los ecosistemas marinos, incluyendo al cambio climático, va en aumento y está teniendo consecuencias diversas. El incremento de CO₂ en la atmósfera se ha reconocido como uno de los problemas más críticos por sus efectos en la escala global, además de su naturaleza irreversible en el tiempo. De manera concatenada, se registran cambios en la temperatura, los patrones de circulación,

la estratificación de la superficie oceánica, los aportes de nutrientes, la disminución de la concentración de oxígeno disuelto y la acidificación del océano, siendo fenómenos con potenciales efectos a escala biológica.

Tendencias del orden de 0.1 °C por década tanto en el Pacífico como en el Golfo de México son ampliamente esperadas en sus aguas superficiales. Un aumento en la estratificación oceánica involucra la controversia del posible cambio en producción primaria asociada con surgencias en el Pacífico y la eficiencia de la mezcla por corrientes de marea. El incremento del orden de 0.5 cm/año en altura significativo en el Pacífico, debido a tormentas invernales, es un escenario robusto, y en el Golfo de México los escenarios apuntan a aumentos y decrementos del orden de 0.2 cm/año, con el signo dependiendo de la localidad. En ambos litorales, el aumento de eventos extremos es el escenario esperado, por lo cual suponemos que la modificación de los patrones climáticos de viento tenga un efecto importante sobre el clima de oleaje (Gay y Rueda, 2015b; Locatelli *et al.*, 2015).

Partiendo del inicio de la era industrial hasta el presente, el pH de las aguas superficiales del océano ha disminuido 0.1 unidades, que equivale a un aumento global de ~30% en la concentración de iones hidrógeno; sin embargo, se prevé que disminuya de 0.3 a 0.4 unidades a escala global hacia finales de este siglo. Las principales causas del incremento del nivel del mar (observado y proyectado) son la expansión térmica (1.10 mm/año), los deshielos de los glaciares y la pérdida de hielo de Groenlandia y Antártida (1.46 mm/año), así como la extracción de agua del subsuelo (0.38 mm/año).

Las tendencias de calentamiento en la superficie del océano influyen sobre la estratificación y la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento del fitoplancton, base de la productividad primaria en los océanos. La intensificación de la estratificación en la mezcla vertical y el flujo de carbono al fondo marino pueden impactar el ciclo del carbono y los procesos en mar profundo. La fauna de mar profundo es vulnerable a cambios ambientales, por lo que algunos cambios que se pudieran considerar “insignificantes” pueden alterar la diversidad biológica de esas zonas. Por otra parte, las observaciones a escala local existentes permitirán comprender las consecuencias del cambio climático a mayor escala.

Asimismo, la destrucción de los ecosistemas costeros y la planeación territorial desarticulada han generado una amplia vulnerabilidad de las costas mexicanas ante los diversos efectos del cambio climático (huracanes y tormentas tropicales, aumento del nivel del mar e inundaciones, cambios de salinidad e hipoxia, acidificación del océano, entre otros). Éstos afectan tanto a los ecosistemas costeros (destrucción de los arrecifes coralinos y manglares, reducción de la biodiversidad, expansión de especies invasoras, erosión

de las dunas y demás) como a las actividades de las poblaciones locales e inversionistas (disminución del turismo, menor rentabilidad de las pesquerías y de la acuicultura, entre otros) (IPCC, 2014; Gay y Rueda, 2015b; Locatelli *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2015).

En las zonas costeras, la adaptación al cambio climático implica, como medidas no suficientes pero necesarias, el monitoreo sistemático integral de los impactos del cambio climático, el ordenamiento ecológico y el ordenamiento territorial, entre otros, los cuales deben desembocar sobre un manejo integrado de las zonas costeras.

El nivel del mar es uno de los componentes físicos que se ve afectado por los cambios en el clima, que suele variar por causas naturales, y sólo recientemente como consecuencia de las actividades humanas. Los cambios del nivel del mar ocurren a distintas escalas de tiempo, desde las olas y las mareas con periodos de segundos y horas, respectivamente, pasando por las variaciones estacionales o de escala interanual, hasta las variaciones en periodos de décadas, cientos, miles o millones de años. El incremento del nivel del mar durante este siglo no será homogéneo en todo el planeta, sino que aumentará más en las regiones tropicales. Las variaciones regionales pueden ser mayores al 100% del promedio global (IPCC, 2014; Gay y Rueda, 2015b).

Por otra parte, el sector forestal de México es un gran contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero. La degradación forestal, los incendios y el cambio de uso de suelo liberan continuamente grandes cantidades de CO₂ equivalente. De acuerdo con el Primer Inventario de Emisiones, en 1997 se reportaron 135,857 Gg (gigagramos) CO₂-eq año⁻¹ provenientes de los bosques; en la Segunda Comunicación Nacional 1998 se reportaron 161,422 Gg CO₂-eq año⁻¹; en la actualización del inventario al 2002 se estimaron 99,376 Gg CO₂-eq año⁻¹; en la Cuarta Comunicación Nacional se reportaron 80,162 Gg CO₂-eq año⁻¹, y en la actualización al 2010 las emisiones del sector se determinaron en 73,872 Gg CO₂-eq año⁻¹ (IPCC, 2014; Gay y Rueda, 2015a; Locatelli *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2015; Djoudi *et al.*, 2016; Palomo, 2017).

Estudios para México muestran que la agricultura de temporal y el sector primario en general son vulnerables a los impactos del cambio climático (Appendini y Liverman, 1994; Feng *et al.*, 2010; Luers *et al.*, 2003; Monterroso *et al.*, 2011; Ureta *et al.*, 2012), aunque se señala que aún existe mucha incertidumbre asociada a los escenarios de cambio climático y su aplicación sobre los sectores productivos.

En la parte de salud, los impactos en las enfermedades transmitidas por vectores a menudo están vinculados a la modificación de los ecosis-

temas por parte del ser humano, así como al cambio climático. Debido a que los cambios en las estacionalidades se incrementarán en un futuro como consecuencia del cambio climático, se deben considerar los cambios en la distribución y propagación potencial de este tipo de enfermedades (Purse *et al.*, 2017).

Además de los impactos sobre los componentes de la parte ambiental en los SSE, los principales descubrimientos muestran que, mientras que el análisis intersectorial ha demostrado demasiadas ventajas para un entendimiento y estudio más comprensivo del género, aún no se han involucrado en el campo del cambio climático y género. El cambio climático afectará a la gente de forma diferencial de acuerdo con su contexto cultural, económico, ambiental y social (Djoudi *et al.*, 2016).

A pesar de que muchas actividades pueden conjuntamente contribuir a las estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático, las políticas climáticas generalmente tratan a estas estrategias de forma separada o, en su defecto, no tienen bien claro estos conceptos y sus implicaciones (Locatelli *et al.*, 2015).

V. VULNERABILIDAD Y RESILIENCIA EN LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

El grado de vulnerabilidad que presentan los SSE está en función de tres características clave: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Esta última se entiende como la flexibilidad de los ecosistemas y la habilidad de los sistemas sociales para aprender en respuesta a las perturbaciones. Los factores que determinan esta capacidad adaptativa incluyen la riqueza económica, la tecnología y la infraestructura, la información, el conocimiento y las habilidades, las instituciones, la equidad y el capital social. El riesgo de una demanda no satisfecha de los SH representa una exposición del SSE a impactos negativos, lo cual puede considerarse como un criterio potencial para evaluar el daño a presentar. De tal manera que, cuando el aporte de un SE disminuye, las personas que dependen de ese SE en particular se vuelven más vulnerables en esa región (Turner *et al.*, 2003; Ávila, 2008; Metzger *et al.*, 2006; IPCC, 2014).

Esta vulnerabilidad es el grado en el cual un sistema, subsistema o componente del mismo es propenso a experimentar daño debido a la exposición a un riesgo o peligro derivado de una perturbación o un estrés que los procesos biofísicos y sociales pueden ocasionar a la población y a los ecosistemas (Turner *et al.*, 2003; Ávila, 2008). Uno de los principales fenómenos que incrementan la vulnerabilidad en los SSE respecto al recurso hídrico es el

cambio climático, ya que tiene el potencial para alterar la disponibilidad y distribución de las reservas de agua, que, aunado a la limitada cantidad de este recurso vital, llegará a ser uno de los principales retos a enfrentar en los próximos 50 años (Ávila, 2008; IPCC, 2015; Castillo-Villanueva y Velázquez-Torres, 2015).

El éxito de una estrategia o decisión de adaptación depende del grado de eficacia de las acciones realizadas para enfrentar el cambio climático y la forma en la que influye en otros sistemas para conseguir revertir la vulnerabilidad.

La adaptación puede involucrar la construcción de capacidad adaptativa, ya sea incrementando la habilidad de los individuos, grupos u organizaciones para adaptarse a los cambios, y la implementación de decisiones congruentes, por ejemplo, transformar la capacidad en acción.

VI. CONCLUSIONES

Nosotros como científicos, gracias a la formación que tuvimos, somos capaces de entender la dinámica poblacional, los procesos climáticos que nos sirven para hacer modelaciones y sus respectivas predicciones, las sugerencias e ideas que permiten sopesar los compromisos/objetivos entre producción y protección de nuestros sistemas ambientales. Sin embargo, también es necesario que entendamos y aterricemos en el contexto de que, como parte de la sociedad, nuestras ideas y propuestas deben considerar los arreglos institucionales y de gobierno que se tienen respecto al manejo de los recursos y la toma de decisiones que los involucran.

Asimismo, para evitar que las personas encargadas de hacer ciencia “dura” (ecólogos, físicos, biólogos, matemáticos, químicos, etcétera) frecuentemente se vean frustrados al fallar sus esfuerzos por lograr que sus propuestas permeen o tengan un impacto en el diseño de políticas y toma de decisiones, es necesario formar vínculos con otros especialistas de áreas distintas y hacer llegar el mensaje desde una perspectiva de “ciencia traduccional”, principalmente aplicada a la ecología hoy en día.

La definición que se le ha dado a este nuevo concepto es la realización de investigación científica que involucre un proceso colaborativo en el que los científicos, el gobierno y la sociedad trabajen en conjunto para diseñar una investigación que informe respecto a la toma de decisiones. Este enfoque difiere del de las ciencias “aplicadas”, en donde se requiere un compromiso directo y deliberado de los usuarios finales de la información científica, y específicamente reconoce la responsabilidad compartida para repartir pro-

ductos de investigación “accionables”. Este tipo de aproximaciones ayudan a asegurar que la investigación sea aplicada de una forma significativa. Mediante la exposición de los científicos a diferentes perspectivas de sus sistemas de investigación, puede mejorarse la ciencia básica, al habilitar a los científicos a identificar preguntas novedosas y desarrollar un entendimiento más completo de su campo de trabajo (Schlesinger, 2010; Hallett *et al.*, 2017).

En la “ciencia traduccional”, el objetivo está en representar los significados de las distintas ramas y pasarlas de un lenguaje al otro, conservando tanta información como sea posible. La traducción efectiva, en este sentido, requiere fluidez en ambos lenguajes, los cuales, a su vez, requieren el entendimiento de la cultura en la que cada lenguaje está incrustado. Para ser efectivo este propósito, se requiere del entendimiento de lenguajes, culturas y corrientes políticas, así como de la participación de las comunidades en las cuales las decisiones relevantes son tomadas.

Por otra parte, nuestra problemática para formar vínculos o puentes de comunicación suele originarse al momento de que, cuando queremos involucrarnos con otras disciplinas, nos sentimos incómodos porque nos adentramos a terrenos, concepciones y dinámicas distintas a las que estamos acostumbrados. A pesar de ello, asociarnos y colaborar con nuestros pares de otros campos disciplinarios será cada vez más necesario para poder proponer estrategias y tomar decisiones en este marco de complejidad que involucra nuestras actividades y sus contribuciones al cambio climático.

Como se mencionó antes, el proceso de toma de decisiones no necesariamente representa la aplicación “objetiva” y directa del conocimiento científico para detonar respuestas de las instituciones y los individuos. Un conjunto de factores de índole social, cultural, ético y político se entremezclan dándole un sentido y significado al conocimiento en concretos contextos sociales y territoriales.

Otro de los factores a considerar en la toma de decisiones, planeación y aprovechamiento de los SE son los conocidos como *trade-offs* o transacciones, ya que la producción de un servicio puede venir a expensas de otro. De igual manera, el consumo de recursos por ciertas personas puede venir a expensas del consumo de otros en el futuro. Debido a esto, es indispensable comenzar a trabajar desde una perspectiva más integrativa con la ciencia, con la finalidad de apoyar en la toma de decisiones, a través de entender mejor la provisión y el uso de los SE, así como las implicaciones para la vulnerabilidad del SSE y cómo ésta se relaciona al desarrollo sustentable (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Gómez-Baggethun *et al.*, 2010; Pérez-Verdín *et al.*, 2012).

Entender la complejidad de las interacciones de las partes sociales con las ambientales, partiendo de un contexto de cambio climático, será crucial para poder tomar decisiones y establecer planes de manejo que tengan sustento en la información generada, y no comprometer la salud de los ecosistemas, pero tampoco los beneficios obtenidos de ellos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ADGER, Neil *et al.* (2005), “Successful Adaptation to Climate Change across Scales”, *Global Environmental Changes*, vol. 15.
- APPENDINI, Kirsten y LIVERMAN, Diana (1994), “Agricultural Policy, Climate Change and Food Security in Mexico”, *Food Policy*, vol. 19, núm. 2.
- ÁVILA, Patricia (2008), “Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México”, *Ciencias*, núm. 90.
- BRAUMAN, Kate *et al.* (2007), “The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services”, *Annual Review on Environmental Resources*, núm. 32.
- CASTILLO-VILLANUEVA, Lourdes y VELÁZQUEZ-TORRES, David (2015), “Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio-ecológicos y resiliencia”, *Quivera*, vol. 17, núm. 2.
- DAVIDSON, Kathryn (2011), “Reporting Systems for Sustainability: What Are They Measuring?”, *Social Indicators Research*, vol. 100, núm. 2.
- DE GROOT, Robert *et al.* (2010), “Challenges in Integrating the Concept of Ecosystem Services and Values in Landscape Planning, Management and Decision Making”, *Ecological Complexity*, vol. 7, núm. 3.
- DI GREGORIO, Monica *et al.* (2017), “Climate Policy Integration in the Land Use Sector: Mitigation, Adaptation, and Sustainable Development Linkages”, *Environmental Science and Policy*, vol. 67.
- DJOUADI, Houria *et al.* (2016), “Beyond Dichotomies: Gender and Intersecting Inequalities in Climate Change Studies”, *Ambio*, vol. 45.
- FENG, Shuaizhang *et al.* (2010), “Linkages Among Climate Change, Crop Yields and Mexico-US Cross-Border Migration”, *PNAS*, núm. 32.
- FORD, Chelcy *et al.* (2011), “Can Forest Management be Used to Sustain Water-Based Ecosystem Services in the Face of Climate Change?”, *Ecological Applications*, vol. 21, núm. 6.
- GAY, Carlos y RUEDA, José (2015a), *Reporte mexicano de cambio climático: Grupo 1. Bases científicas, modelos y modelación*, UNAM, Programa de Investigación en Cambio Climático.

- GAY, Carlos y RUEDA, José (2015b), *Reporte mexicano de cambio climático: Grupo 2. Impactos, vulnerabilidad y adaptación*, UNAM, Programa de Investigación en Cambio Climático.
- GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik *et al.* (2010), “The History of Ecosystem Services in Economic Theory and Practice: From Early Notions to Markets and Payment Schemes”, *Ecological Economics*, vol. 69, núm. 6.
- HALLETT, Lauren *et al.* (2017), “Navigating Translational Ecology: Creating Opportunities for Scientist Participation”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, núm. 15.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Ginebra, IPCC.
- LOCATELLI, Bruno *et al.* (2015), “Integrating Climate Change Mitigation and Adaptation in Agriculture and Forestry: Opportunities and Trade-Offs”, *WIREs Climate Change*, vol. 6.
- LUERS, Amy *et al.* (2003), “A Method for Quantifying Vulnerability, Applied to the Agricultural System of the Yaqui Valley, Mexico”, *Global Environmental Change*, vol. 13.
- MARTÍNEZ-HARMS, María José y BALVANERA, Patricia (2012), “Methods for Mapping Ecosystem Service Supply: A Review”, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*.
- METZGER, M. *et al.* (2006), “The Vulnerability of Ecosystem Services to Land Use Change”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 114.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005), *Chapter 6. Concepts of Ecosystem Value and Valuation Approaches*.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005), *Chapter 7. Freshwater Ecosystem Services*.
- MONTERROSO, A. *et al.* (2011), “Efectos del cambio climático sobre la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México”, *Tierra Latinoamericana*, núm. 29.
- MOSTERT, Erik (2015), “Who Should Do What in Environmental Management? Twelve Principles for Allocating Responsibilities”, *Environmental Science and Policy*, vol. 45.
- MURADIAN, R. *et al.* (2013), “Payments for Ecosystem Services and the Fatal Attraction of Win-Win Solutions”, *Conservation Letters*, vol. 6, núm. 4.
- NEWELL, Peter (2008), “The Political Economy of Global Environmental Governance”, *Review of International Studies*, vol. 34, núm. 3.

- ORTEGA, Tamara *et al.* (2014), “Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos”, *Investigación Ambiental*, núm. 6.
- PALOMO, Ignacio (2017), “Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature Review”, *Mountain Research and Development*, vol. 37, núm. 2.
- PÉREZ-VERDIN, G. *et al.* (2012), “Economic Valuation of Watershed Services for Sustainable Forest Management: Insights from Mexico”, en DIEZ, Julio J. (ed.), *Sustainable Forest Management – Current Research*, InTech.
- PURSE, Bethan *et al.* (2017), “How Will Climate Change Pathways and Mitigation Options Alter Incidence of Vector-Borne Diseases? A Framework for Leishmaniasis in South and Meso-America”, *PLoS ONE*, vol. 12.
- SCHLESINGER, William (2010), “Translational Ecology”, *Science*, vol. 329.
- SMITH, Erin *et al.* (2015), “Assessing Socio-Economic Vulnerability to Climate Change Impacts and Environmental Hazards in New South Wales and Queensland, Australia”, *Geographical Research*, vol. 53, núm. 4.
- TURNER, B. *et al.* (2003), “A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 100, núm. 14.
- URETA, Carolina *et al.* (2012), “Projecting Effects of Climate Change on the Distribution of Maize Races and their Wild Relatives in Mexico”, *Global Change Biology*, vol. 18.