



INSTITUTO  
DE ECOLOGIA  
UNAM

# Oikos =

22

Diciembre 2018

Las ciencias de la sostenibilidad



## DIRECTORIO

### UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Enrique Luis Graue Wiechers  
*Rector*

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas  
*Secretario General*

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
*Secretario Administrativo*

Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa  
*Secretario de Desarrollo Institucional*

Mtro. Javier de la Fuente Hernández  
*Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria*

Dra. Mónica González Contró  
*Abogada General*

Dr. William Lee Alardin  
*Coordinador de la Investigación Científica*

M. en C. Néstor Enrique Martínez Cristo  
*Director General de Comunicación Social*

### INSTITUTO DE ECOLOGÍA

Dr. Constantino Macías García  
*Director*

Dr. Juan Enrique Fornoni Agnelli  
*Secretario Académico*

Ing. Ulises Martínez Aja  
*Secretario Administrativo*

Dr. Luis Enrique Eguiarte Fruns  
*Editor*

Dra. Clementina Equihua Z.  
Dra. Laura Espinosa Asuar  
*Asistentes editoriales*

Lic. Esmeralda Osejo Brito  
*Asistente editorial Jr.*

Dr. Daniel Piñero Dalmau  
Dr. Julio Campo Alves  
Dr. Fernando Álvarez Noguera  
*Consejo editorial*

L. D. G. Abril Luz María Ángeles Trujillo  
*Diseño editorial*

OIKOS=, Año 2, No. 22 (diciembre 2018) es una publicación cuatrimestral, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Unidad de Divulgación y Difusión del Instituto de Ecología, Ciudad Universitaria, Circuito Exterior S/N, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Tel. (55)5622-9002, correo electrónico: cequihua@iecolgia.unam.mx, <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/>. Editor responsable: Luis Enrique Eguiarte Fruns. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-111710202000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Certificado de Licitud de Título y Contenido: en trámite, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Grupo Impreso, Domicilio Monrovia 1101 Bis, Portales, Ciudad de México, 03300. Este número se terminó de imprimir el día 30 del mes de junio de 2018, con un tiraje de 500 ejemplares, impresión tipo offset.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista de los árbitros, del Editor o de la UNAM. Se autoriza la reproducción de los artículos (no así de las imágenes) con la condición de citar la fuente y se respeten los derechos de autor.

Distribuido por: Instituto de Ecología, Ciudad Universitaria, Circuito Exterior S/N, Delegación Coyoacán, C.P. 04510. Ejemplar gratuito.

Oikos= es financiado por el proyecto PE208918 de PAPIME.

Diseño de portada: Abril Angeles con fotografía de Lakshmi Charli Joseph.





INSTITUTO  
DE ECOLOGIA  
UNAM

Diciembre 2018

## CONTENIDO

### DEL DIRECTOR

#### Agenda Thunberg

Constantino Macías .....5

### DE LOS EDITORES

#### Las ciencias de la sostenibilidad

Lakshmi Charli Joseph, Laura Espinosa Asuar, Clementina Equihua Z. y Luis E. Eguiarte.....6

### ARTÍCULOS

#### Sostenibilidad en la UNAM

##### Retos y lecciones aprendidas en el Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM.

Marisa Mazari Hiriart, María José Solares y Amy M. Lerner..... 8

#### Sostenibilidad en la Ciudad de México

##### El agua en la Ciudad de México: ¿por qué sobra y falta al mismo tiempo?

Alma Rosa Huerta Vergara y Adrián Pedrozo Acuña..... 12

##### La basura en Xochimilco como un reto para la sostenibilidad urbana

Beatriz Ruizpalacios..... 15

##### La Ciudad de México y la urgente transformación hacia un futuro más sostenible

Yosune Miquelajauregui, Erika Luna, Rodrigo García y Fidel Serrano-Candela..... 20

##### MEGADAPT: un modelo para entender la vulnerabilidad urbana

Luis A. Bojórquez-Tapia y Hallie Eakin ..... 23

##### ¿Somos tan verdes como decimos? Análisis de las áreas verdes de la Ciudad de México

Cristina Ayala-Azcárraga ..... 26

### Transiciones de lo rural a lo urbano: el caso de las chinampas de Xochimilco

Patricia Pérez-Belmont ..... 29

## Sostenibilidad en México

### Agua, ecosistemas y alimentos

Verónica Solares Rojas y Alonso Aguilar Ibarra..... 34

### ¿Amor platónico o amor real? La conservación de la selva y la subsistencia de su gente

Malena Oliva..... 37

### Análisis y mapas de vulnerabilidad en México

Abril Cid Salinas ..... 41

### Cambia, todo cambia. Agua y sostenibilidad en la Sierra Wixárika

Shiara K. González-Padrón ..... 44

### Cómo transitar hacia una ganadería tropical sostenible

Rocío Santos-Gally, Karina Boege, Juan Fornoni y César A. Domínguez..... 47

### Ecoturismo y sostenibilidad: la observación de ballenas en la Laguna Ojo de Liebre

Emilio Rodríguez Izquierdo ..... 50

### Intervenciones humanas: desde la domesticación hasta la ingeniería genética y su impacto en la agro-biodiversidad

Alejandra Hernández-Terán y Ana E. Escalante..... 54

## Teoría de la sostenibilidad

### Poder y sostenibilidad: una amalgama afortunada

Ludwig García y J. Mario Siqueiros ..... 58



## Del director

### Agenda Thunberg

**Constantino Macías**

*This ongoing irresponsible behaviour will no doubt be remembered in history as one of the greatest failures of humankind. (Este comportamiento irresponsable actual será sin duda, recordado en la historia como uno de los más grandes fallos de la humanidad).*

**Greta Thunberg**

Eso manifestó la joven en su intervención ante el Parlamento Británico el pasado abril. Parecería extraordinario que el más antiguo parlamento occidental le diera audiencia a una chica de 16 años, sobre todo porque Greta no es un genio artístico o académico, o una atleta consumada. No se trata de una princesa inglesa, o de la heredera de alguna casa real extranjera. Greta ni siquiera es británica. Es una estudiante sueca a la que el acceso a la información, junto con su evidente racionalidad —supongo que nutrida por un sistema educativo sensato— la ha llevado a percibir con claridad cuáles son los riesgos que enfrenta el sistema climático planetario, y cuales son las consecuencias que su desajuste, provocado por los humanos, habrá de tener muy pronto.

Greta ha comprendido el llamado de los científicos y ha escuchado la angustia en sus voces; angustia nacida de la certeza de una catástrofe inminente si no tomamos acciones radicales. También ha entendido por qué no las tomamos. En esa misma intervención en Westminster, les dijo a los miembros del parlamento “ustedes no escuchan a la ciencia, porque están solamente interesados en soluciones que les permitan seguir en lo suyo como antes”.

Reconocer cuáles son los procesos que nos han puesto en esta ruta de colisión, imaginar acciones efectivas e implementarlas con el concurso de los diferentes actores sociales para corregir el rumbo, es una buena definición de sostenibilidad. Greta Thunberg nos ha indicado con una voz que, sin ser la primera, sí se cuenta entre las más lúcidas y efectivas, una agenda inescapable: las sociedades tenemos que cambiar nuestra conducta pero en particular los políticos y las grandes corporaciones tienen que escuchar a los científicos. No podemos seguir pensando en proyectos de ningún tipo sin cuestionarnos cual será su impacto en el ambiente.

Se trata de una agenda de relevancia global, pero que contiene unas cuantas notas que resuenan con particular agudeza en el México de hoy. En él se ha asomado la tentación de darle la espalda a la ciencia en favor de quehaceres cortoplacistas. Ello nos pone, como especie, en el riesgo ser más un obstáculo que un promotor de la urgente agenda ambiental. Este número de *Oikos=* nos invita y nos informa sobre diversas maneras de sumarnos a la agenda Thunberg. 🌍

## De los editores

### Las ciencias de la sostenibilidad

**Lakshmi Charli Joseph, editora invitada**  
**Laura Espinosa Asuar, Clementina Equihua Z. y Luis E. Eguiarte**

Este número de *Oikos=* surge con motivo del décimo aniversario de la creación del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), proyecto promovido por el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México en 2009 (Ver *Oikos=* Inauguración del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad. LANCIS fue diseñado para fomentar el tránsito hacia la sostenibilidad de nuestro país, y una de sus tareas más importantes es vincular la academia, con los diversos actores sociales, contribuyendo de esta forma a la articulación de la ciencia y la toma de decisiones.

El número está conformado por artículos que muestran diferentes estudios en Ciencias de la Sostenibilidad que actualmente se realizan desde la UNAM, ilustrando la diversidad de participantes involucrados en ellos, que van desde alumnos de doctorado del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM, a investigadores jóvenes que comienzan a explorar esta temática, hasta investigadores consolidados en el área.

En gran medida gracias al entusiasmo de los jóvenes estudiantes de dicho posgrado se escribieron un total de 15 colaboraciones, todas ellas disponibles en PDF y en línea.

Las Ciencias de la Sostenibilidad estudian las interacciones entre los sistemas biofísicos y sociales —es decir, el acoplamiento de los sistemas socio-ecológicos— y se definen sobretudo por los problemas que abordan y por la contribución a sus posibles soluciones. Los artículos ilustran la complejidad de los problemas de sostenibilidad en México, como son la sobre-explotación de recursos naturales y el impacto que tienen a la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras, la creciente pobreza y desigualdad ante el cambio global, entre otros. En algunos de ellos se discute cómo estos problemas también son perversos, es decir, no existe una solución única, y a veces las soluciones planteadas pueden agravar los problemas; sin embargo, señalan la necesidad de la investigación para poder

identificarlos en primer lugar, y luego explorar las posibles soluciones. Los textos reflejan un elemento fundamental de esta disciplina: la transdisciplina, un enfoque de trabajo que involucra tanto a actores académicos como no académicos, desde los inicios de un proyecto cuando se conceptualizan los problemas a atender, hasta la construcción conjunta de alternativas de solución.

*Oikos=* 22 inicia con un relato de Marisa Mazari-Hiriart, María José Solares y Amy M. Lerner, en el que hablan de los retos y lecciones aprendidas en la creación e implementación del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, proyecto liderado por el Instituto de Ecología, y continúa con diversos casos de estudio que se relacionan con la Ciudad de México: Luis Bojórquez y Hallie Eakin describen un proyecto de investigación que explora la vulnerabilidad de las megaciudades, particularmente de la Cd. de México, ante el cambio global. En otro artículo Cristina Ayala analiza la situación de las áreas verdes en la Ciudad de México. Contamos además con dos manuscritos que hablan sobre el paradigmático humedal urbano de Xochimilco: Patricia Pérez Belmont y Beatriz Ruizpalacios investigan temas de transiciones rurales-urbanas y de basura, respectivamente. El tema del agua, tan importante para nuestra ciudad, se aborda en dos escritos: Alma Rosa Huerta y Adrián Pedrozo Acuña analizan su manejo, y en otro, de Yosune Miquelajauregui, Erika Luna, Rodrigo García y Fidel Serrano-Candela, se habla sobre cómo es posible estudiar este problema.

También presentamos en este número 22 de *Oikos=* casos de estudio en otras áreas de nuestro país, con temas que van desde las aparentes disyuntivas entre conservación de recursos naturales y la subsistencia humana, escrito por Malena Oliva, como el reto que representa la ganadería para la conservación de los ecosistemas y sus posibles soluciones, escrito por Rocío Santos, Karina Boege, Juan Fornoni y César Domínguez.



Shiara González Padrón revisa el desafío del agua en comunidades humanas, en particular las huicholas del Noroeste de nuestro país, mientras que Abril Cid describe qué son los mapas de vulnerabilidad y reflexiona sobre su utilidad para analizar la vulnerabilidad de la costa mexicana. Emilio Rodríguez por otra parte discute cuáles son los umbrales importantes para la protección de ballenas de Baja California Sur, y cómo se determinan. Por último, Verónica Elena Solares Rojas y Alonso Aguilar Ibarra escriben sobre un caso de estudio en Chiapas en el que analizan el impacto de la alteración del ciclo del agua sobre la seguridad alimentaria.

Uno de los aspectos relevantes de la sostenibilidad es la necesidad de conceptualizar esta disciplina en desarrollo, para lo cual contamos con dos artículos que están relacionados con estos aspectos. Alejandra Hernández Terán y Ana E. Escalante nos hablan sobre el impacto de la domesticación y la ingeniería genética en la agrobiodiversidad; y Jesús Mario

Siqueiros y L García, reflexionan sobre la relación entre el poder y la sostenibilidad, así como sobre la conexión entre lo social y lo ambiental.

Estamos seguros que nuestros lectores estarán de acuerdo en que el esfuerzo de preparar este número ha valido la pena, ya que esta colección de 15 textos, en su conjunto logra reflejar un panorama completo y actual sobre las Ciencias de la Sostenibilidad en México.

En nuestro próximo número recordaremos al recientemente fallecido José Negrete Martínez, un pionero de la ecología teórica y hablaremos sobre cómo es que aves como los colibríes logran vivir sólo de azúcar, entre otras sorpresas.

Esperamos que disfruten este número 22 de *Oikos=* tanto como nosotros. 🌱



Adaptación a las inundaciones.  
Fotografía: Marisa Mazari Hiriart.

## Sostenibilidad en la UNAM

### Retos y lecciones aprendidas en el Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM

Marisa Mazari Hiriart, María José Solares y Amy M. Lerner

Un grupo de alrededor de cincuenta alumnos de primer semestre del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad (PCS) se sienta en el pasto para conversar sobre cómo integrar la ciencia con la sociedad. A pesar de la diversidad de formaciones e intereses, algo en común les emociona: la pasión por cambiar el mundo y llevarlo hacia trayectorias más sostenibles. Las aportaciones de los alumnos a la discusión reflejan un deseo genuino de atender problemas complejos de sostenibilidad, que van desde lo local hasta lo global. Hablan de límites planetarios, de cambio climático, de marginación, de seguridad alimentaria, de recursos naturales, de inequidad y pobreza. La motivación e inspiración de los alumnos se contagia y el facilitador de la discusión se entusiasma por el ánimo que reflejan. Todos revelan una honesta determinación por atender estos problemas con el fin de contribuir a mejorar el bienestar tanto social como ambiental para ésta y para futuras generaciones.

Años antes, en 1998, investigadores motivados por un mismo interés lanzaron el conocido “contrato social de la ciencia”, publicado en la revista *Science* encabezado por Jane Lubchenco, en el cual se hacía un llamado a los académicos para que se involucraran tanto en la investigación como en la docencia, con el fin de priorizar y atender problemas de importancia para la sociedad y ayudar a mejorar las condiciones de vida, a disminuir el deterioro ambiental, a mantener y mejorar la capacidad de los ecosistemas en la Tierra para sostener las necesidades de la población mundial. Surgió entonces un movimiento que continuó apoyando estas ideas, lo que permitió que en 2011 Robert Kates iniciara una sección sobre el tema en la prestigiada revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* (pnas). Ahí definía a las ciencias de la sostenibilidad como “un campo emergente de conocimiento que estudia las interacciones entre los sistemas naturales y sociales, y sobre cómo estas interacciones afectan los retos de la sostenibilidad: satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, conservando los sistemas de soporte de vida del planeta”.

Con estos sucesos inició la articulación de un nuevo enfoque que se conocería como ciencias de la sostenibilidad, mismo que ha tenido un fuerte impacto en el ámbito de la investigación y la formación de recursos humanos.

A escala mundial surgieron programas educativos como las maestrías en *Sustainability Science* y *Sustainable Natural Resource Management* de la Universidad Estatal de Arizona (ASU por

*Arizona State University*), la maestría en *Sustainability Science* de la Universidad de Leuphana, en Alemania, y la maestría y el doctorado en *Sustainability Science* de la Universidad de Tokyo-UNU, Japón. Desde entonces ha habido una expansión y replanteamiento de diversos programas de posgrado en el mundo, para ampliar la oferta de programas universitarios en temas de sostenibilidad. Paralelo a esto, ha aumentado la publicación de revistas y secciones en revistas dedicadas al tema, como PNAS, *Sustainability Science*, *Sustainability* y *Nature Sustainability*, entre otras.

A pesar de la imperante necesidad e interés en formar profesionales en temas de sostenibilidad, sigue vigente el cuestionamiento sobre cuáles son las habilidades, herramientas y capacidades fundamentales con las que debería contar un egresado con formación en esta área. Los programas de sostenibilidad tienden a integrar el análisis de los aspectos sociales y biofísicos de un problema a través del trabajo participativo o comunitario, mediante un enfoque transdisciplinario (el involucramiento de actores no académicos en el proceso de investigación). Sin embargo, las diversas visiones y perspectivas que existen no permiten la creación de un currículo universal para los programas en sostenibilidad. Esto es, a la vez, un reto y una gran riqueza.

#### Visión

La visión del programa es impulsar un enfoque innovador que fomente la integración entre las disciplinas científicas y humanísticas, para contribuir al desarrollo sostenible del país, preservando de manera equitativa, justa y ética, los elementos naturales, sociales y económicos que constituyen el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

#### Objetivo

El objetivo del programa es formar expertos y científicos que dominen las bases conceptuales y las metodologías de las ciencias de la sostenibilidad, y que sean capaces de proponer soluciones desde una perspectiva transdisciplinaria a los problemas de desarrollo sostenible.





#### Maestría

- Contextos urbanos
- Manejo de sistemas acuáticos
- Política, gobernanza e instituciones
- Restauración ambiental
- Sistemas energéticos
- Vulnerabilidad y respuesta al cambio global

#### Doctorado

- Cambio global, vulnerabilidad y resiliencia
- Sistemas socioambientales, complejidad y adaptación
- Gobernanza, planeación colaborativa y aprendizaje social
- Límites, trayectorias y transición a la sostenibilidad
- Monitoreo y evaluación de sistemas socioambientales
- Urbanismo e infraestructura sostenible
- Diseño de sistemas sociotecnológicos

### La UNAM y el Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad

A continuación, hablaremos sobre el caso del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad (PCS), creado en 2015 en la UNAM. Después de tres años de operación y el ingreso de cuatro generaciones, un total de 271 alumnos, ofrecemos al lector una serie de reflexiones y discutimos los principales retos que hemos notado, tanto para estudiantes como para profesores y tutores. Estos retos constituyen oportunidades para mejorar la trayectoria del programa en la formación de profesionales en sostenibilidad tanto en México como en Latinoamérica.

### Historia del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad

El PCS es el programa más joven de la Universidad Nacional Autónoma de México. Fue aprobado por el Consejo Universitario el 24 de marzo de 2015, después de tres años de planeación y un año de presentaciones en 18 diferentes instancias académicas. Así, en mayo de 2015 inició formalmente la implementación del posgrado. Actualmente, cuenta con la participación de 12 entidades universitarias y se imparte en Ciudad Universitaria y en Morelia (Figura 1). En el programa se ofrecen los niveles de Maestría y Doctorado, con seis campos de conocimiento y siete líneas de investigación.

Desde el inicio, el proyecto recibió un gran apoyo por parte de las autoridades universitarias, y ha despegado con grandes expectativas. Los impulsores de este proyecto académico incluyeron al Dr. José Narro, como Rector de la UNAM, y miembros del Instituto de Ecología de la UNAM, como los doctores César Domínguez y Luis Antonio Bojórquez, las doctoras Ana E. Escalante y Marisa Mazari, actual coordinadora del Programa, y las maestras María José Solares y Lakshmi Charli Joseph (ver en *Oi-*

*kos= 9: Las ciencias de la sostenibilidad en las aulas de la UNAM*). Desde la Secretaría de Desarrollo Institucional de la UNAM, con el apoyo del Maestro Javier de la Fuente, se convocó a múltiples entidades de la misma universidad y a funcionarios de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Durante tres años, investigadores, profesores y algunos funcionarios de gobierno colaboraron a lo largo de ocho talleres para diseñar el programa, basado en necesidades reales de formación, puntos de vista desde diversas disciplinas y ámbitos. Es necesario mencionar el apoyo de la Dra. Hallie Eakin y del Dr. Charles Redman de ASU, con quienes se realizaron discusiones enriquecedoras dada su experiencia en el diseño de uno de los programas pioneros en ciencias de la sostenibilidad en Estados Unidos.

En poco tiempo el Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad ha logrado atraer a jóvenes y profesionistas, algunos con varios años de experiencia en temas de sostenibilidad, preocupados por lograr un cambio en las condiciones actuales de pobreza, inequidad y deterioro de los sistemas socioambientales, pero con necesidad de fortalecer su formación académica en el área. Hoy este posgrado representa un desafío y una oportunidad, tanto para profesores y tutores como para los estudiantes, al tratarse de un campo emergente en el que aún falta mucho por construir, y que implica un trabajo y aprendizaje mutuo e interdisciplinario.

En los cuatro procesos de ingreso a la fecha, se registraron 937 aspirantes, de los cuales 271 fueron aceptados, lo que representa apenas cerca del 30% de la demanda. La proporción de alumnos varía en las diferentes generaciones; entre 21-37% son de doctorado y entre 63-79% son de maestría (Figura 2). El 80% de los alumnos han contado con beca para realizar sus estudios, el primer año con apoyo de la UNAM y desde el 2016 con apoyo de CONACYT, fecha en que el Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad se incorporó al *Programa Nacional de Posgrados de Calidad* (PNCP) de CONACYT como Programa de Reciente Creación. De la primera generación ya se han graduado un total de 30 Maestros en Ciencias de la Sostenibilidad, de los cuales siete ingresaron al Doctorado.

Los alumnos proceden de muy diversas disciplinas, y varían de generación en generación. La mayoría proviene de licenciaturas en Biología, Ecología y Ciencias Ambientales y en menor proporción, de Economía, Sociología, Antropología, Relaciones Internacionales, así como Ingenieros Ambientales, Civiles, y Químicos, entre otros. Esta diversidad de formaciones a nivel profesional permite el intercambio de ideas, conceptos y visiones, ayudando a generar estrategias para atender problemas de sostenibilidad de manera integral.

### Reflexiones y lecciones sobre el Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad la UNAM

#### *Disciplinarietàad vs. interdisciplinarietàad*

Debido a que es un nuevo campo, los tutores y profesores del PCS en su mayoría no han sido formados en sostenibilidad; mucho de su conocimiento y experiencia lo han adquirido a través del trabajo interdisciplinario como parte de su carrera profesional, y



Figura 1. Entidades participantes en el Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM.

ahora con el trabajo que desarrollan con los alumnos. Incorporar académicos con diversas concepciones de lo que es sostenibilidad no ha sido tarea fácil, ya que se requieren comités tutores integrados por académicos de diversas áreas, para facilitar proyectos y comunicación interdisciplinaria. Esto ha implicado un gran reto porque los tutores con formaciones y visiones desde diversas áreas disciplinarias han tenido que integrarse y orientar a los alumnos para construir propuestas con nuevos marcos teóricos y metodológicos. Esta interacción ha enriquecido la visión de los alumnos y de los propios tutores, logrando en muchos casos sinergias. Sin embargo, también se han presentado casos en que la integración no se logra, por lo que ha sido necesario modificar la conformación de los comités tutores. Sin duda, la apertura e interés de los tutores por incursionar desde diferentes perspectivas a los temas de sostenibilidad es fundamental para el Posgrado.

#### *Involucramiento de tutores de diversas áreas*

La riqueza de la investigación que se lleva a cabo en la UNAM ha permitido desarrollar los campos de conocimiento de la Maestría y líneas de investigación del Doctorado. El número de entidades y de tutores involucrados de la UNAM en el Programa son una muestra de la capacidad y fortaleza que existe en la Universidad para formar recursos humanos desde diversas áreas de conocimiento relacionadas con sostenibilidad. Sin embargo, un problema al que nos enfrentamos es que no existe un balance en cuanto a los tutores de las diferentes áreas, teniendo una menor participación desde las humanidades y las ingenierías.

#### *Herramientas para profesionales en sostenibilidad*

El Programa se creó como una opción para egresados de diferentes carreras que pretenden orientar su actividad profesional hacia las ciencias de la sostenibilidad. La variedad de disciplinas de los alumnos resulta muy atractiva, ya que gran parte de los trabajos que realizan durante el primer semestre lo hacen en equipos interdisciplinarios, lo que les permite enriquecer las discusiones y abordar los problemas desde diferentes perspectivas. Esto resulta

ser una gran fortaleza para el Posgrado, sin embargo, representa también un reto ya que los alumnos no cuentan con una formación homogénea en cuanto a ciertos conocimientos básicos, principalmente de matemáticas y estadística, herramientas fundamentales para un buen desempeño durante sus estudios. Esto nos lleva a cuestionar la necesidad de aplicar otros criterios de evaluación para el ingreso, sin cerrar la opción a egresados que por su formación no cuentan con dichas herramientas.

#### **Conclusiones**

Los retos para lograr transitar a estados futuros más sostenibles son enormes, y requieren la formación de profesionales en ciencias de la sostenibilidad. Cada año ha habido más demanda para el ingreso a este Posgrado, lo cual muestra una verdadera necesidad e interés de jóvenes de México y Latinoamérica. Es claro que existe la demanda, el interés y la necesidad por un Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, sin embargo, debe consolidarse y crecer paulatinamente de acuerdo con las posibilidades de profesores y tutores.

Aún cuando existe una infinidad de retos por resolver, incluyendo la integración de diversos tutores con visiones distintas, así como alumnos con capacidades y conocimientos diversos, consideramos que vale mucho la pena invertir tiempo y esfuerzo para ir adaptando y limando las aristas que aún se perciben como parte de este gran reto. Los egresados de este posgrado han iniciado y ya empiezan a incorporarse en centros de trabajo como por ejemplo la agencia alemana GIZ y la SEMARNAT, entre otros, estamos seguras que seguirán trabajando para el bien de un México más sostenible, con la intención de brindar una mejor calidad de vida para sus habitantes.

Durante los tres años de vida del Posgrado, se han ido construyendo acuerdos entre disciplinas, articulando diferentes marcos teóricos y metodológicos para plantear nuevas propuestas y enfoques, formando profesionales, mejorando cursos, integrando comités tutores cuyos miembros interactúan entre sí. Todo esto hace que el entramado de profesionales con interés en

	2016-1			2017-1			2018-1			2019-1		
Registro Inicial	Maestría	Doctorado	Total	Maestría	Doctorado	Total	Maestría	Doctorado	Total	Maestría	Doctorado	Total
Número de alumnos	110	30	140	134	28	162	148	22	170	208	37	245
	Maestría	Doctorado	Total	Maestría	Doctorado	Total	Maestría	Doctorado	Total	Maestría	Doctorado	Total
	82	28	110	49	23	72	89	16	105	88	21	109

Figura 2. Cantidad de estudiantes del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM, que han participado en los diferentes concursos de admisión y los que han sido admitidos en los programas de maestría y doctorado.

Ciencias de la Sostenibilidad crezca, y se vayan atendiendo --en la medida de lo posible-- y proponiendo soluciones a diversos problemas en esta disciplina emergente. Estos serán los líderes del futuro, son quienes se incorporarán a los puestos de trabajo que demandan la solución de los problemas complejos que aquejan al mundo moderno.

El Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM es una gran oportunidad innovadora que contribuirá al desarrollo de un mejor país, con el potencial de influir en Latinoamérica, y con la firme intención de que la sociedad transite hacia la sostenibilidad. 🌱

**Marisa Mazari-Hiriart** es investigadora del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, UNAM. Sus líneas de investigación son el monitoreo ambiental en socioecosistemas, la degradación de sistemas acuáticos y la evaluación ambiental en ecosistemas urbanos y rurales, con especial énfasis en aspectos de calidad del agua y salud ambiental.

**María José Solares** es bióloga de la UAM Xochimilco y Maestra en Ciencias Biológicas de la UNAM. Ha trabajado en diversos proyectos ambientales, principalmente de ordenamiento ecológico. Actualmente labora en el Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad, co-coordinando el área de educación y creación de capacidades.

**Amy M. Lerner** estudió Biología Humana en la Universidad de Stanford, EUA y Doctorado en Geografía de la Universidad de California Santa Bárbara. Estudia los procesos de urbanización y deforestación tropical, e Integra diferentes tipos de datos (cuali y cuantitativos) para poder entender procesos de cambio ambiental y generar escenarios de sistemas productivos sostenibles.

### Para saber más

- Brundiers, K., Wiek, A., Redman, Ch. 2010. Real-world learning opportunities in sustainability: from classroom into the real world. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 11: 308-324.
- Charli-Joseph, L., Escalante, A.E., Eakin, H., Solares, M.J., Mazari-Hiriart, M., Nation, M., Gómez-Priego, P., Domínguez, C.A., Bojórquez-Tapia, L. 2016. Collaborative framework for designing a sustainability science program: lessons learned at the National Autonomous University of Mexico. *International Journal of Sustainability in Education* 17: 1-29.
- Kates, R.W. 2011. What kind of a science is sustainability science? *PNAS* 108: 19449-19450.
- Kates, R.W. *et al.*, 2001. Sustainability Science. Policy Forum: Environment and Development. *Science* 292: 641-642.
- Wiek, A., Withycombe, L., Redman, Ch.L. 2011. Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability Science* 6: 203-218.

**Alma Rosa Huerta Vergara y Adrián Pedrozo Acuña**
**El problema**

En México existe una gran desigualdad en el uso y distribución del agua. En el país se destina cerca de 70% a actividades agrícolas, y el 22% lo utiliza la industria, siendo ésta la mayor responsable de la contaminación de ríos y lagos, mientras que sólo el 8% se destina al uso doméstico. Sin embargo, existen poblaciones enteras que no tienen acceso al suministro de agua potable, y, por otro lado, tenemos grandes empresas que controlan y obtienen las mayores concesiones para la extracción del recurso.

Además de la desigualdad en el uso y la distribución del líquido, en México enfrentamos otros problemas locales para satisfacer la demanda de agua, entre los que destacan las condiciones climáticas, la ubicación geográfica, el aumento de las actividades económicas, el inadecuado uso de los recursos naturales, el incremento de los estándares de calidad de vida y la concentración e incremento demográfico en las zonas urbanas. Ejemplo de esto último es que la recarga natural del acuífero, de gran importancia para los sistemas de flujo subterráneo, se ha visto afectada por la urbanización del suelo de conservación.



Figura 1. Inundación en zona vial al Sur de la Ciudad de México.  
Fotografía: A.R. Huerta-Vergara.

Históricamente, la Ciudad de México ha sufrido grandes inundaciones, y en el pasado hubiese resultado imposible predecir que la urbe iba a sufrir un severo problema de escasez de agua a partir de la segunda mitad del siglo XX. Esta paradoja se debe a que, a lo largo de la historia, las acciones para resolver sus problemas de inundaciones se centraron, principalmente, en expulsar el agua de lluvia fuera de la cuenca, sin preocuparse o tener la intención de recuperarla o asegurarse de que, al menos parte, se infiltrara al subsuelo para recargar los acuíferos.

Después de siglos de drenar el Valle de México, hoy en día no sólo se sigue viviendo el problema de las inundaciones, sino que se acentúa el de la escasez de agua (Figura 1). Ante esta situación, las autoridades han realizado numerosos esfuerzos por satisfacer las necesidades relacionadas con los servicios hidráulicos. Dichos esfuerzos han consistido, principalmente, en la extracción de agua de pozos aún más profundos o en su transportación desde otras cuencas.

Entre las acciones que distintos gobiernos han implementado en la Ciudad de México están la creación, conservación, ampliación y modernización de la infraestructura que importa el agua desde otros estados, como el Sistema Lerma y el Sistema Cutzamala, cuyas fuentes de abastecimiento provienen del Estado de México para el primer sistema y del Estado de México y Michoacán para el segundo (Figura 2). La importación de agua desde otras cuencas para satisfacer la demanda de la ciudad presenta algunas contrariedades, ya que cerca del 40% de ésta se pierde en fugas, se extrae de manera clandestina o es agua no contabilizada, es decir el agua que no se mide por alguna falla en el sistema de conteo. Estas estrategias, centradas en el abastecimiento de agua potable a la ciudad, han llevado a inversiones muy elevadas en infraestructura, no han satisfecho las necesidades de la población, y pocas autoridades se han interesado por entender cómo se han afectado las condiciones ambientales de las cuencas de donde se extrae el agua.

**El futuro del agua y de la Ciudad**

La conservación, ampliación y modernización de la infraestructura existente y el desarrollo de nuevos proyectos son “soluciones” transitorias y con altos costos que no acaban de resolver el problema del todo. Es evidente la necesidad de fomentar el desarrollo sostenible en la gestión del agua en la Ciudad de Mé-



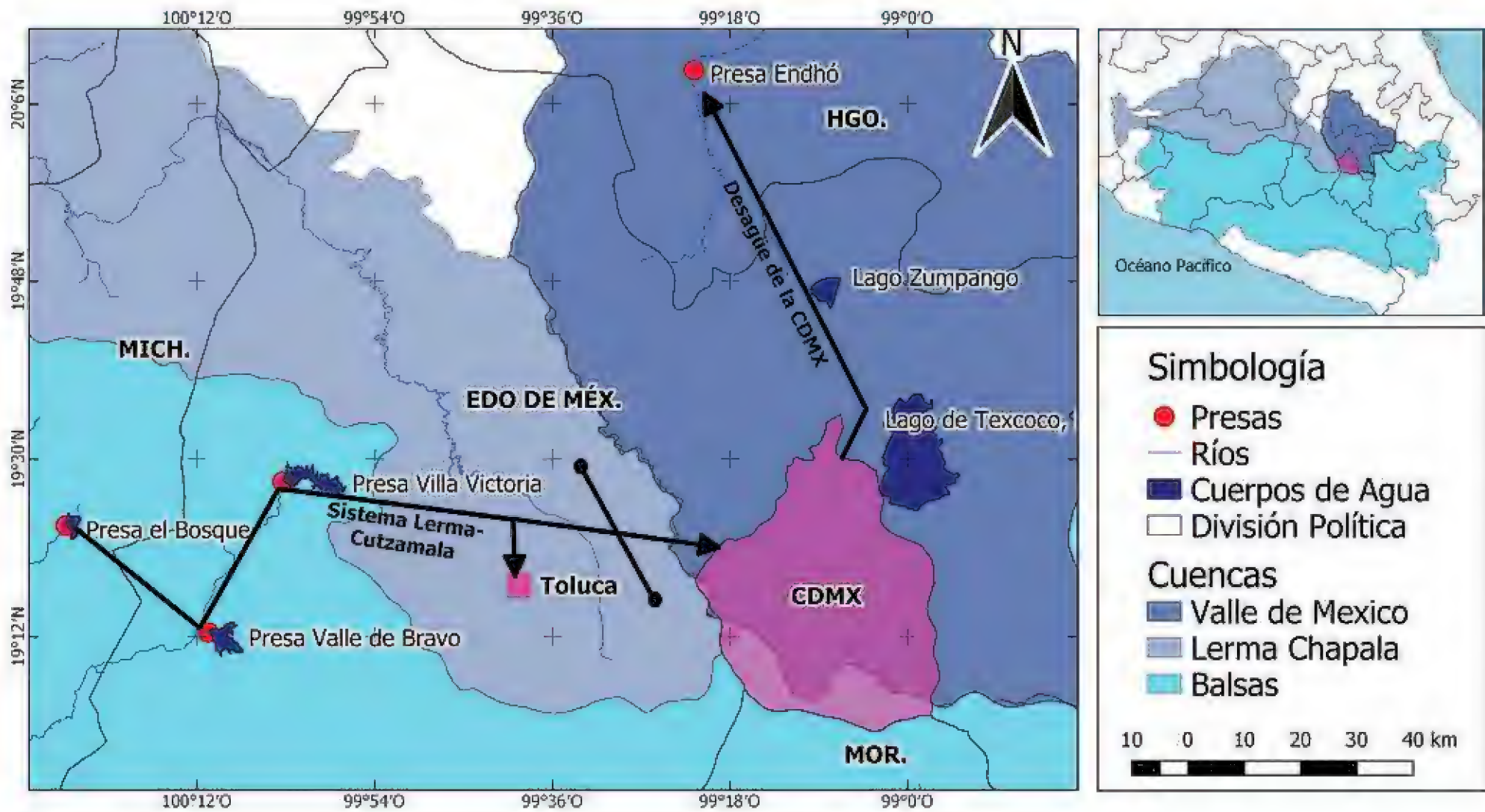


Figura 2. Ubicación de las fuentes externas de abastecimiento de agua potable y la expulsión de aguas grises de la Ciudad de México. Imagen elaborada en el sistema QGIS por A.R. Huerta-Vergara.

xico, ya que no ha sido posible cubrir sus demandas, y la calidad de agua que los acuíferos proveen se está deteriorando de forma alarmante. Al hablar de desarrollo sostenible nos referimos a la adaptación y práctica de medidas que permitan un desarrollo socioeconómico que contemple que los recursos naturales son finitos, como el agua. Las condiciones actuales de gestión y uso del agua en la Ciudad de México han hecho que el problema

de la escasez de agua se agrave con el tiempo. La presión sobre este recurso a causa del aumento en la población es un problema que actualmente repercute en el contexto social, económico y ecológico. Por ejemplo, el desarrollo urbano y metropolitano actual —caracterizado por la despoblación de la zona central de la ciudad y su expansión hacia la periferia—, genera desigualdad, pobreza y falta de acceso al agua para la mayoría de los ciudada-



Figura 3. A. Zona urbana al Sur de la Ciudad de México. Resalta la presencia de vegetación urbana útil para la recarga de los acuíferos. B. Zona urbana al Centro de la Ciudad de México. Se ilustra cómo el crecimiento de la urbe ha contribuido a la degradación ambiental. Fotografías: A.R. Huerta-Vergara.



Figura 4. Lluvia y tormenta eléctrica al Sur de la Ciudad de México. Considerando que a la ciudad al mismo tiempo le falta y le sobra agua, ¿cómo podríamos aprovechar el agua de lluvia? El primer paso es saber cuánta agua llueve en la Ciudad. Fotografía: A.R. Huerta-Vergara.



Figura 5. Sistema de medición de lluvia del Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Fotografía cortesía del Observatorio Hidrológico.

nos. El crecimiento de la urbe contribuye, además, a la degradación ambiental, debido a la pérdida de áreas verdes y de suelo de conservación, que es donde se recargan los acuíferos de los que se abastece la mayor parte de la población (Figura 3 A y B).

No basta con buscar soluciones técnicas; paralelamente a ellas se requieren campañas de divulgación que inviten a la población a sumarse al esfuerzo sustentable y a buscar un cambio en su actitud y disposición para cuidar el recurso hídrico. De otra manera, cualquier esfuerzo técnico será insuficiente para mejorar el uso, gestión, aprovechamiento y eficiencia en el reparto y resguardo del agua.

Si vivimos en una ciudad a la que al mismo tiempo le falta y le sobra agua, ¿cómo podríamos aprovechar el agua de lluvia? El primer paso es saber cuánta agua llueve en la Ciudad (Figura 4). El Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería de la UNAM es un proyecto que surge en atención a los problemas de inundación en la Ciudad de México.

A través de sistemas inteligentes, el Observatorio Hidrológico está desarrollando una red de medición de lluvia en tiempo real, en la que la información se encuentra disponible a través de una plataforma abierta a todo el público y los reportes que se publican a través de su cuenta de Twitter (@ohiiunam; Figura 5). Con ello las autoridades y ciudadanos se pueden mantener informados sobre la intensidad de precipitación pluvial en el área que cubre cada una de sus estaciones. En un futuro, con el Observatorio Hidrológico, a través del apoyo y colaboración de Instituciones como CONAGUA, SACMEX, CONACYT, Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera, SECITI y el Gobierno de la Ciudad de México, buscamos vincularnos con proyectos que ayuden a la población a aprovechar el agua de lluvia, para de esta manera contribuir a solucionar el problema de la escasez de agua y las inundaciones. 🌧️

**Alma Rosa Huerta Vergara** es bióloga egresada la Facultad de Ciencias de la UNAM, actualmente es estudiante de Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en la Universidad Nacional Autónoma de México. Su línea de investigación es sustentabilidad hídrica con énfasis en contextos urbanos, cambio global, vulnerabilidad y resiliencia.

**Adrián Pedrozo Acuña** Investigador Titular de la Universidad Nacional Autónoma de México y Director del Instituto Mexicano Tecnológico del Agua (IMTA). Su línea de investigación es hidrofórmula y monitoreo de variables hidrológicas, centrado en el modelado probabilístico de eventos hidrometeorológicos extremos, evaluación y propagación de la incertidumbre y gestión del riesgo e ingeniería para la adaptación de infraestructura al cambio climático.

#### Para saber más

- Isla Urbana: sistemas de captación de agua de lluvia. <http://islaurbana.org/>
- Perló, M. y A. González. 2005. *¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*. PUEC, UNAM.



La basura en Xochimilco como un reto para la sostenibilidad urbana

**Beatriz Ruizpalacios**

El paisaje del Xochimilco contemporáneo está cambiando a gran velocidad: sus emblemáticos canales y chinampas tienen cada vez más cascajo y basura, en vez de ajolotes y alcatraces. Esta transformación se debe a diversos procesos asociados a la urbanización, como el crecimiento de la Ciudad buscando nuevas zonas residenciales y el transporte de agua de los manantiales en Xochimilco para surtir de agua a la Zona Metropolitana del Valle de México a cambio de aguas tratadas para llenar el humedal.

Entre los principales efectos de la urbanización en Xochimilco destaca el considerable aumento en la producción de residuos urbanos y agrícolas que generan problemas ambientales, sociales y económicos. A pesar de que los camiones y los barrenderos pasan todos los días a recoger la basura de las casas y las calles, hay una gran cantidad de basura que se queda en los espacios públicos de este lugar. A simple vista podría parecer que se trata de una falta de conciencia ambiental y educación por parte de los residentes. Sin embargo, recolectar los diversos tipos de residuos que se generan en una zona periurbana ubicada en un humedal no es tarea fácil, y tampoco lo son las estrategias que los residentes tienen a su alcance para manejar su basura.

**¿Por qué es peculiar el problema de la basura en Xochimilco?**

Xochimilco tiene una gran diversidad de paisajes. El Programa de Desarrollo Urbano de la Delegación, en su publicación de 2005, reportó que solamente el 20% del territorio era suelo urbano, y se encontraba principalmente sobre la planicie que es zona de transición entre lago y montaña, mientras que el 80% restante correspondía a suelo de conservación y estaba compuesto por el humedal urbano (donde están las chinampas) y la zona cerril o de montaña. El crecimiento de la Ciudad de México, combinado con el crecimiento de la propia delegación, están provocando que la zona urbana se extienda sobre las chinampas y la zona cerril, destinadas a actividades agrícolas y de conservación.

La existencia de diferentes actividades agrícolas y urbanas en un mismo lugar dificulta a los barrenderos y a los camiones recolectores llevarse los residuos. Esto se debe a que en cada actividad se generan diferentes tipos de basura y cada tipo de basura tiene una forma de manejo particular; con la basura orgánica se puede producir composta, algunos residuos inorgánicos se pueden reciclar, otros deben ser eliminados en rellenos sanitarios y otros más requieren un manejo especial. Además, el crecimiento urbano ocurre sobre terrenos de difícil acceso para los recolectores



El camión recogiendo la basura en una avenida de San Gregorio Atlapulco. Fotografía: Beatriz Ruizpalacios.



Basura en una calle de la zona cerril de San Gregorio Atlapulco. Fotografía: Beatriz Ruizpalacios.

de basura, pues las calles son angostas y empinadas, y muchas veces se ubican en la zona de conservación, tanto en el humedal como en la zona cerril por lo que, al tratarse de asentamientos irregulares, la ley les niega el servicio de recolecta de basura.

La basura que no se recolecta no sólo afecta a todas las formas de vida, particularmente la salud de sus habitantes, sino que también a la infraestructura y la imagen urbana. Pero además, los desechos producen gases nocivos, como metano y bióxido de carbono que contribuyen al cambio climático. UNEP reportó en 2015 que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático estimó que, en 2010, alrededor del 3% de la emisión global de gases de efecto invernadero provenía de los rellenos sanitarios y la quema de residuos. La basura también contamina el agua superficial y subterránea, ya que hay líquidos que se filtran por el suelo, como aceites de motor, desechos de construcción, fertilizantes y pesticidas, que pueden ser altamente tóxicos tanto para las personas y para los animales. Además, la basura que no se recolecta o los materiales de construcción que se dejan en costales a la intemperie, se acumulan en las calles y se convierten en nidos de bacterias, insectos y animales que transmiten infecciones. Los residuos que llegan al drenaje, obstruyen los ductos con sustancias y materiales como grasas y plásticos, hasta formar tapones que, al no dejar fluir el agua, provocan inundaciones.

Para disminuir estos problemas es indispensable contar con un servicio eficiente de recolección separada de la basura que se genera, asegurarse que recibe el tratamiento adecuado (reúso, reciclaje, integración a otro proceso productivo, etcétera) y llevarla a los sitios de disposición final. Sin embargo, no toda la basura llega a los rellenos sanitarios ni recibe un tratamiento adecuado. De acuerdo con el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México de 2017 en Xochimilco sólo el 43% del total de residuos recolectados se recogen de forma separada en orgánicos e inorgánicos, lo que aumenta su reutilización; pero no se sabe cuál es la cantidad de residuos que se recogen y cuántos se quedan en las calles y espacios públicos. Tampoco se sabe qué cantidad de residuos se quema, se deja en tiraderos a cielo abierto, se entierra o se tira en los canales. Por lo tanto, no es posible saber con exactitud el grado de afectación que provocan estas formas de disposición de basura.

### Basura en San Gregorio Atlapulco

Con el fin de entender cómo se maneja la basura en Xochimilco, durante 2016 y parte de 2017 realicé un estudio como parte del proyecto PAPIIT IA30117, UNAM, en San Gregorio Atlapulco, uno de los 16 pueblos originarios de la Alcaldía de Xochimilco,

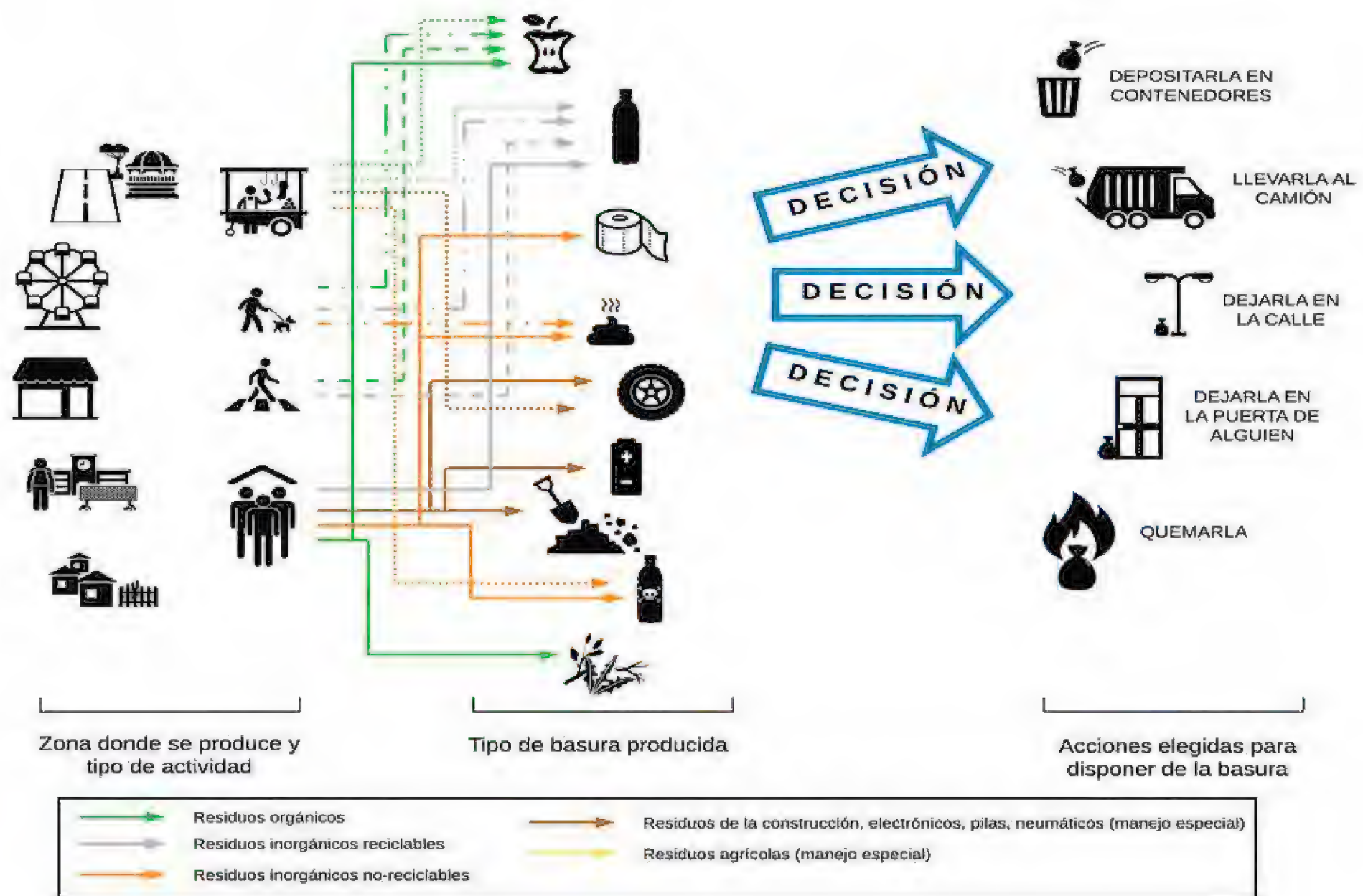


Diagrama 1. Ruta de la basura en zona urbana: doméstica de construcción.



UBICACIÓN	TIPO DE RESIDUOS GENERADOS						SERVICIOS DE RECOLECCIÓN Y LIMPIA DISPONIBLES		
	Orgánicos	Inorgánicos reciclables	Inorgánicos no-reciclables	Sanitarios (aprovechamiento limitado)	Construcción, electrónicos, pilas, neumáticos *	Agrícolas*	Camión recolector	Barrendero	Brigada de la comunidad
Humedal (chinampero)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Zona de transición (urbana)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Zona cerril (conservación)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			

que abarca las tres zonas: cerril, de transición con asentamientos urbanos y humedal urbano con chinampas productivas. Durante la investigación realicé diversos recorridos y entrevistas con productores agrícolas y residentes, y encontré que quienes generan la basura, tanto productores agrícolas como comerciantes y residentes, se ven obligados a almacenar, transportar y hasta tratar su basura (por ejemplo, producir composta, quemarla o enterrarla).

Al analizar la trayectoria de los desechos desde que se generan hasta que llegan a su disposición final, observé que hay tres factores principales que definen su manejo y destino: el tipo de basura que se genera (agrícola, de casas o comercios, de construcción), el lugar en el que se genera y los servicios de recolección y limpia disponibles. Esto se muestra en la tabla.

Los generadores de basura, es decir los agricultores o los residentes, deben tomar decisiones de qué hacer con su basura dependiendo de los tres factores mencionados, como se muestra en ejemplos de la ruta de su basura ilustrados en los diagramas 1 y 2.

El diagrama 1 muestra la ruta de la basura en la zona urbana que está en la transición entre el humedal y la zona cerril. Se muestran algunas características del lugar, como la existencia de calles, plazas, actividades recreativas, comercios, casas, así como algunos de los actores que hay, como comerciantes, vecinos con mascotas, peatones y residentes. Cada actor se conecta con el tipo de basura que genera, como residuos sanitarios, orgánicos, inorgánicos reciclables y no reciclables y de construcción. Los actores deben entonces tomar una decisión para tratar su basura y como

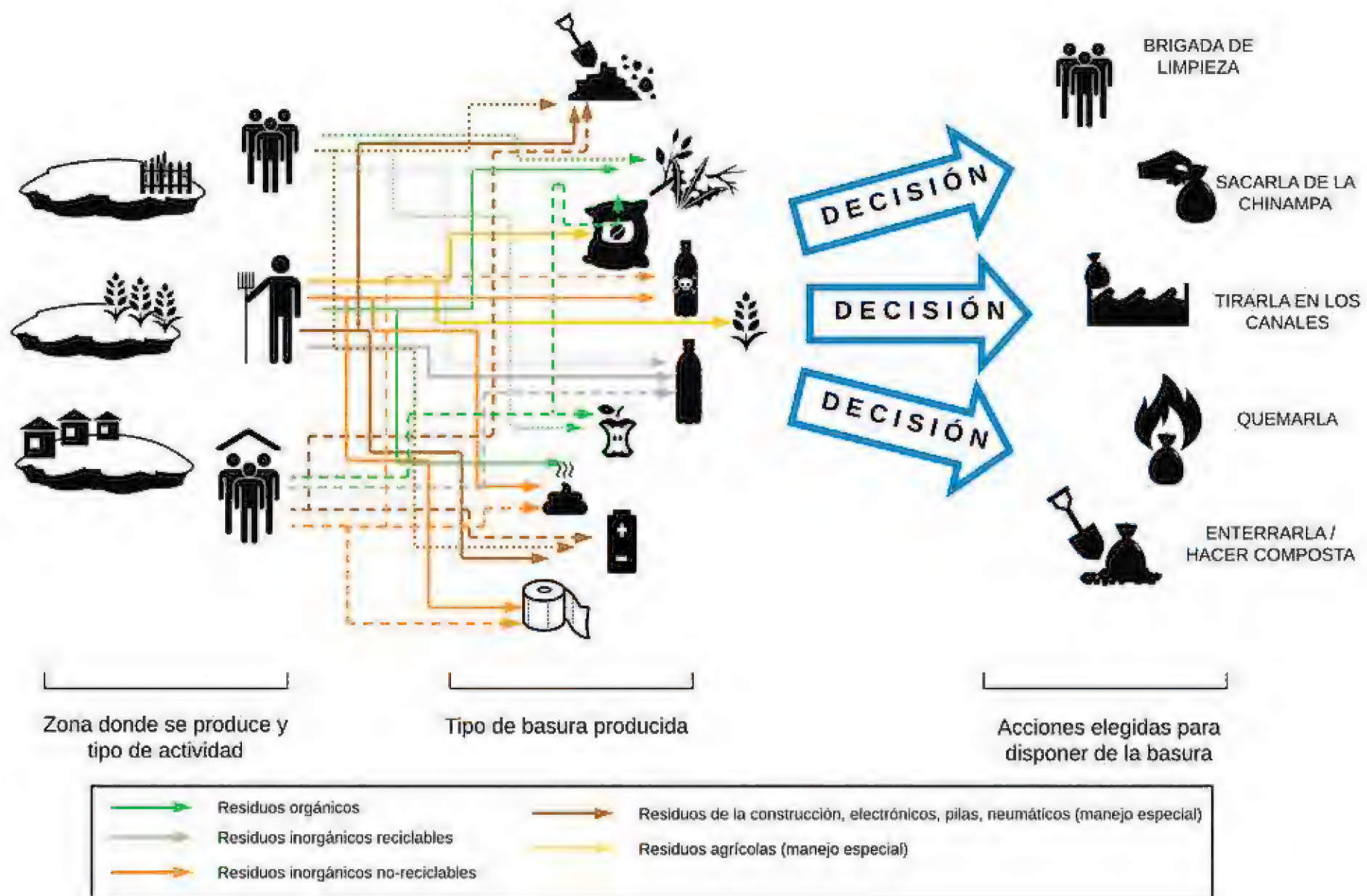


Diagrama 2. Ruta de la basura en zona chinampera: doméstica, agrícola y de construcción.

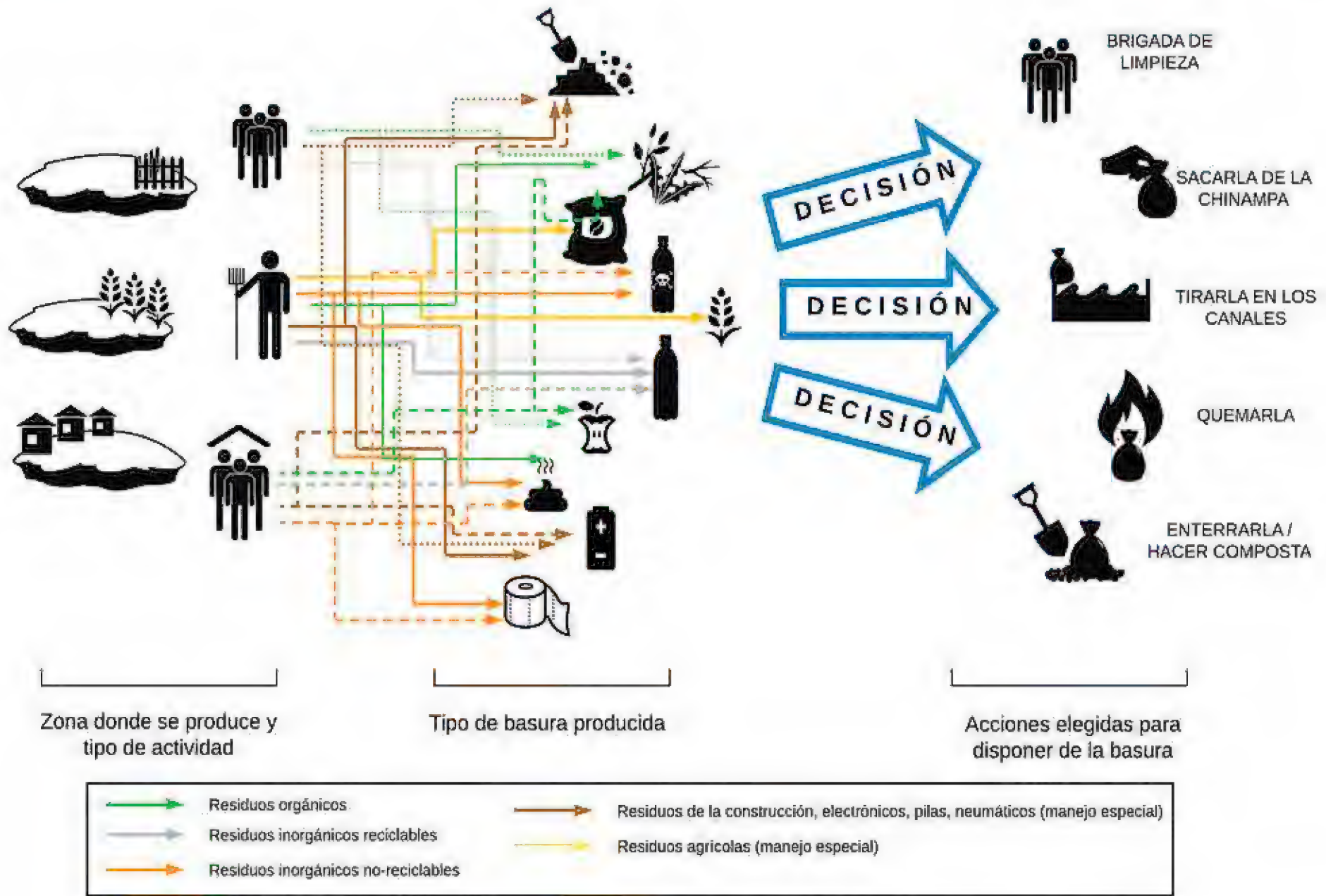


Diagrama 3. Ruta de la basura en zona cerril: doméstica, agrícola y de construcción.

están en la zona urbana pueden elegir entre tirarla en contenedores, llevarla al camión recolector o a los barrenderos, dejarla en la calle, dejarla en la puerta de una casa o quemarla.

El diagrama 2 muestra la ruta de la basura en el humedal, donde se encuentra la zona chinampera. Algunos productores chinamperos utilizan paquetes tecnológicos que incluyen plaguicidas y fertilizantes comerciales, invernaderos y mantas de plástico para cubrir las camas de producción. Los productores orgánicos o tradicionales emplean plaguicidas y fertilizantes naturales, es decir producidos por ellos mismos, y lirios y paja para cubrir las camas de cultivo. En ambos casos se usan macetas, palas y rastrillos, cajas para los almácigos y anaqueles de metal para diversas tareas agrícolas. Todos los productores llevan alimentos para comer durante la jornada. Los tipos y cantidades de residuos que generan pueden ser similares en alimentos y materiales de producción, pero utilizan insumos diferentes que requieren tratamientos diferentes.

Al estar lejos de las avenidas donde pasan los camiones recolectores los habitantes deben disponer ellos mismos de sus residuos. Pueden solicitar asistencia de brigadas de la comunidad para limpiar los canales, pero siempre deben decidir si: 1. llevan su basura hasta donde pasan los camiones y carritos; 2. la entierran o queman in situ; 3. la arrojan a los canales; 4. la dejan frente a la casa de alguien o 5. la arrojan en una calle o camino (Diagrama 2).

El diagrama 3 muestra la ruta de la basura en la zona cerril, donde no hay servicios regulares de recolección de basura

por estar dentro del área de conservación y estar fuera de la jurisdicción de la Dirección de Servicios de Limpia de la delegación. Además, dado que estos servicios generalmente no coinciden con los horarios de los residentes (ya que pasan durante el transcurso de la mañana o la tarde en las avenidas que se encuentran en las faldas del cerro), los residentes deben encontrar alternativas para disponer de sus desechos. Durante mi investigación encontré que



Pepenadores de residuos electrónicos separando los materiales con potencial de reúso en San Gregorio Atlapulco. Fotografía: Beatriz Ruizpalacios.

pueden decidir entre varias opciones: 1. Llevar sus residuos a puntos fijos en avenidas principales por las que sí pasan los camiones y carritos recolectores; 2. dejar sus residuos en los contenedores del mercado; 3. dejar su basura en la puerta de vecinos por donde sí pasan los camiones y carritos; 4. dejarla en montoncitos en una calle o camino cualquiera o 5. enterrarla o quemarla in situ.

Lo que es evidente con estos ejemplos es que los servicios de recolección de basura y limpia no son adecuados para las necesidades de quien la genera ya que los servicios no coinciden con sus estilos de vida ni con los servicios a los que tienen acceso. El resultado es que los diferentes actores se transfieren la responsabilidad de uno a otro, en un contexto que parece ser tierra de nadie.

### El futuro de Xochimilco y de su basura

A pesar de que hay decretos que establecen qué tipo de uso se le puede dar al suelo en cada zona: conservación, agrícola y urbano; el crecimiento de la Ciudad de México y la demanda de vivienda están provocando que Xochimilco se expanda con asentamientos irregulares hacia los suelos de conservación. El resultado es que las viviendas y las actividades urbanas y la producción agrícola chinampera y cerril compiten por el mismo espacio en sitios que están protegidos para proveer de servicios ambientales a la región y a la Ciudad de México. Forman mosaicos heterogéneos donde los terrenos otrora unifamiliares ahora albergan a más de una familia, y se encuentran junto a asentamientos irregulares, huertos de lechuga e invernaderos de flores.

Un crecimiento urbano como este —que se da de manera rápida, progresiva y, generalmente, al margen de la ley y la planificación urbana—, resulta en más residuos generados y menos residuos recolectados.

El problema que genera esta basura trasciende lo social, lo estético y lo higiénico, pues provoca cambios lentos pero profundos en el sistema socioecológico de Xochimilco que, a su vez, impacta en una dimensión aun mayor: a la Ciudad de México, la Zona Metropolitana y la región entera.

Es importante señalar que la basura que no se recoge no puede tratarse adecuadamente y por lo tanto tiene un importante impacto en el medio ambiente, afecta la infraestructura y la salud de las personas, animales y plantas. Si, en 2015, aproximadamente el 78% de la población total de México era urbana y el promedio de basura generada era de 1.2 kg/persona/día, ¿qué sucederá en 2025, cuando se calcula que el 82% de la población será urbana y que cada persona producirá entre 1.5 y 4.5 kg de basura al día? Las posibles soluciones al problema de la basura, aplicables tanto a nuestro caso de estudio, Xochimilco, como al resto de nuestro país, no son simples ni rápidas, pues requieren modificaciones a la ley, la ampliación de las rutas de recolección, la colocación de más botes de basura en la vía pública, la asignación de un presupuesto mayor para recolectar y tratar la basura y, sobre todo, cambios importantes en nuestros hábitos de consumo para reducir la cantidad de desechos, reutilizarlos o reciclarlos. Indudablemente, hay acciones pequeñas que, al sumarlas, logran hacer una diferencia. Aquí te damos algunas ideas, pero seguramente tú puedes hacer más. 🌱

### Recomendaciones para reducir la basura en tu comunidad

- Hazte responsable de la basura que generas y tírala de forma adecuada y en los lugares destinados para ello.
- Reduce la cantidad de basura que generas. Puedes utilizar bolsas de tela para cargar tus compras, botellas de vidrio o metal para beber agua o café, olvídate del popote y las servilletas de papel, compra productos a granel.
- Separa siempre la basura que generas en orgánica, inorgánica no-reciclable, inorgánica reciclable y residuos de manejo especial y asegúrate de que los camiones recolectores y barrenderos se la lleven.
- No dejes los materiales de construcción a la intemperie y en costales que se pueden mojar o deshacer; mejor guárdalos bajo techo, evita que se mojen y que se desperdigue el material.
- Infórmate sobre la manera adecuada de disponer de tus residuos: aceites de cocina o de maquinaria, recipientes de insecticidas, artículos de curación o higiene personal, animales y mascotas muertos. Así evitarás contaminación y enfermedades.
- Organízate con tus vecinos y tus autoridades locales para que se coloquen contenedores en la vía pública y se amplíen las rutas de recolección y limpia.
- Exige a tus familiares, amigos, vecinos y a tus autoridades, que se hagan responsables de cuidar su comunidad.

**Beatriz Ruizpalacios.** Es Maestra en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM. Su trabajo se ha enfocado en las interacciones sociales y ambientales en espacios urbanos, periurbanos y rurales. Actualmente es estudiante de doctorado en el Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad en la UNAM.

### Para saber más

- Atlas de Basura, mapa interactivo: <http://www.atlas.d-waste.com/>
- Pérez Belmont, P., L. Charli Joseph, E. Valiente Riveros y M. Mazari Hiriart. 2018. Xochimilco y sus chinampas: lecciones del sismo del 19 de septiembre, 2017. *Oikos=* 20: 19-23.
- SEDEMA. Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México 2016-2020.
- SEDEMA. [Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013 sobre separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal](#)
- SEDEMA. [Cómo separar tus residuos y qué hacer con ellos.](#)
- SEDEMA. Separación de grasas y aceites de origen animal y/o vegetal residuales.
- SEDEMA. [Norma Ambiental para la Ciudad de México NADF-012-AMBT-2015.](#)
- SEDEMA. Suelo de conservación. Sedema.
- SEMARNAT. [Reduce tus residuos.](#)

Yosune Miquelajauregui, Erika Luna, Rodrigo García y Fidel Serrano-Candela

“Por las calles de la gran ciudad  
caminé dos horas o más,  
hundiéndome en la oscuridad”  
**Las Ligas Menores**

Quién vive en una gran ciudad seguro ha padecido de innumerables problemas. Desde hace unos años, más de la mitad de la población del planeta vive en ciudades; la otra mitad probablemente las ha visitado. Cualquiera puede hacer un catálogo razonable de agravios: contaminación, ruido, violencia, escasez de agua, inundaciones, movilidad deficiente, basura, etcétera.

Mientras que algunos de estos problemas sólo son irritantes o inconvenientes (como lidiar con un vecino ruidoso), otros son gravísimos, pues deterioran la viabilidad de generaciones futuras. Así es como se definen los problemas de sostenibilidad.

Si fueran de fácil solución, seguramente no llegarían a ser tan graves. ¡Pero no! Por lo general, los problemas de sostenibilidad no tienen soluciones únicas y definitivas, y, además, la forma de definirlos y delimitarlos varía. Lo primero que parece sensato —entenderlos— es en sí un reto complicado que polariza las opiniones y divide a las comunidades. Ya no digamos encontrarles soluciones que satisfagan a todas las partes afectadas. Al contrario, las soluciones que se encuentran suelen ser parciales, o a corto plazo, o crean nuevos y a veces peores problemas.

Podemos tomar como ejemplo el problema del abastecimiento de agua. Traerla de fuentes externas a la ciudad deteriora las condiciones de vida de las comunidades rurales de donde proviene. Extraerla localmente provoca hundimientos que dañan prácticamente toda la infraestructura urbana, pero particularmente las tuberías de distribución y de drenaje, lo que a su vez genera inundaciones y encharcamientos que se vuelven problemas de salud pública (Figura 1). Los problemas de sostenibilidad se caracterizan por tener múltiples aristas con soluciones a veces contrastantes. Por ejemplo, lo que resuelve un problema de equidad podría a su vez generar un problema de escasez. Lo que podría ser una solución para el consumo humano podría ser un problema potencial para el desarrollo industrial.

Estos problemas, a los que se les llama *problemas perversos* por la infinidad de variables cambiantes que los componen, son la sustancia de las Ciencias de la Sostenibilidad. Así pues, científicos, tomadores de decisiones, líderes de opinión y especialistas de todos tipos y lugares se preguntan honestamente ¿qué acciones deben tomar las grandes ciudades para transitar hacia la sostenibilidad?

Actualmente, la Ciudad de México participa en diversas iniciativas entre las que se encuentran: “100 Ciudades Resilientes”, la red “C40 Cities”, y la “Agenda 2030 para el Desarrollo

Sostenible de la ONU”, que identifican un conjunto de problemas y sugieren ejes de acción. Hemos sintetizado estos ejes de acción propuestos por las iniciativas clasificándolos en tres grandes categorías: 1. estructura de gobernanza urbana, 2. desarrollo urbano resiliente y 3. planeación del espacio urbano. En este artículo nos centraremos sólo en aquellos relacionados con el agua; después de todo, es un recurso tan importante para la viabilidad de generaciones futuras que atender problemas relacionados con el agua equivale a atender problemas de sostenibilidad.

### 1. El papel del gobierno o gobernar para el uso sostenible del agua

Nuestra primera categoría: estructura de gobernanza, tiene que ver con la manera en la que interactúan y operan las instituciones, las administraciones públicas y los individuos de cada país. Con respecto a este eje de acción, la Ciudad de México se ha comprometido a fomentar una estructura de gobernanza urbana democrática, transparente, inclusiva e integral que facilite el diálogo, la coordinación y la participación de los distintos sectores de la sociedad en la toma de decisiones. La distribución del agua potable de buena calidad es uno de los principales problemas de gobernanza en la Ciudad de México, que resulta de la implementación de políticas públi-



Figura 1. Inundación cerca del Metro Acatitla, Iztapalapa, Ciudad de México.

Foto: Victor Hernández; Julio 2018.

cas deficientes, de la falta de transversalidad, es decir, problemas de gestión que se manifiestan a lo largo de las diferentes jerarquías gubernamentales y sus cadenas de mando, así como de la inequidad en su abastecimiento. No existe una única solución para enfrentar el problema del agua en la Ciudad de México; sin embargo, por medio de la transdisciplina, la integración de los aspectos científicos, sociales y políticos permite tomar decisiones más informadas y entender los riesgos asociados que implican.

## 2. Infraestructura para la resiliencia

La segunda categoría, el desarrollo urbano resiliente, se refiere al desarrollo dirigido a impulsar a las grandes ciudades hacia un estado más resiliente, es decir, que sea capaz de enfrentar las amenazas naturales (como el cambio climático) o socioeconómicas (como la expansión urbana) sin poner en riesgo su viabilidad presente y futura. Para ello se necesita desarrollar infraestructura que garantice la eficiencia ecológica y energética y que, así, contribuya a una transformación ante los principales retos sociales, ambientales y económicos. La infraestructura urbana resiliente fomenta el mantenimiento e incremento de *servicios ecosistémicos* como la recarga de acuíferos o captura de carbono, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de energías renovables, la cons-

trucción de redes de transporte público eficientes, y la reducción de desechos mediante la separación de la basura que fomente el uso de materiales reciclados y reciclables. Para enfrentar los riesgos de inundaciones en la Ciudad de México, una de las iniciativas que ha impulsado el gobierno local es la construcción de infraestructura capaz de capturar agua de lluvia y retenerla para su uso posterior. Capturar agua pluvial permitirá, por una parte, asegurar el abasto de agua potable en la época de secas, y, por otra, evitar la sobrecarga de las tuberías en la época de lluvias. Esta iniciativa, aunque prometedora en esencia, se encuentra aún en etapas iniciales.

## 3. Planeación urbana

La tercera categoría, planeación del espacio urbano sostenible, trata de la gestión del territorio urbano, así como de servicios públicos y acciones que fomenten la participación de los distintos sectores de la sociedad en la toma de decisiones y la identificación de acuerdos. Un ejemplo es la forma que tome el espacio urbano; es decir, el tipo de superficie que será destinada a transformar el territorio de la ciudad puede tener un gran impacto en la vulnerabilidad socio-hidrológica (inundaciones, escasez del agua, etcétera). Una planeación urbana sostenible permitirá articular pro-

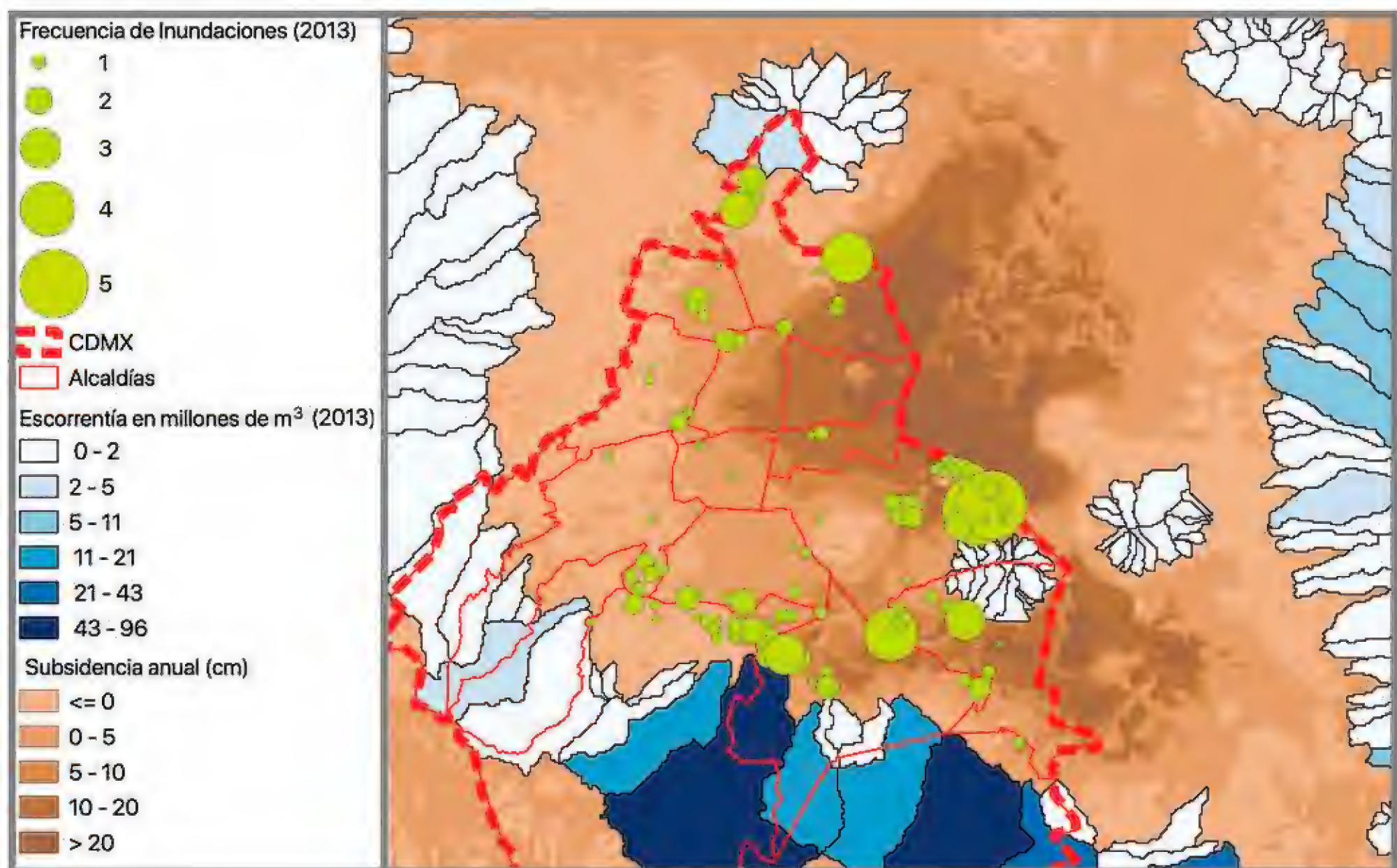


Figura 2: Resultados del análisis de inundaciones obtenidos a partir de la base de datos del Sistema de Agua de la Ciudad de México (SACMEX) utilizados en MEGADAPT. El mapa muestra cómo el escurrimiento superficial de las cuencas altas y los hundimientos de la Ciudad de México resultan en áreas con mayor vulnerabilidad a las inundaciones. Autor: Fidel Serrano-Candela. Este mapa fue elaborado en QGIS (versión 3.4).

gramas de respuesta pronta ante casos como los riesgos derivados de cambio climático.

Con respecto a la disponibilidad del agua, cabe apuntar que, debido a la expansión urbana que se ha experimentado durante los últimos 60 años en la Ciudad de México, ha desaparecido casi el 30% de los bosques naturales de la región, a causa de lo cual ha disminuido el número de cuerpos de agua superficiales y se ha reducido la capacidad de recarga de los acuíferos, de los que se obtiene cerca del 60% del agua que se utiliza en la ciudad. Además, la sobreexplotación de los mantos acuíferos ocasiona hundimientos importantes que se traducen en deterioros de la red de distribución y de otra infraestructura urbana. Se estima que cerca del 40% del agua que entra a la red se pierde debido a fallas del sistema de abasto. Se trata de un problema perverso tal que la distribución de agua potable de calidad no es simplemente una cuestión de infraestructura, sino que responde a decisiones sociopolíticas y cuestiones de gobernanza, y se ve intensificado por la deficiente planeación urbana a largo plazo, por el uso de tecnología para abasto obsoleta y por una débil coordinación a nivel local y regional.

#### 4. El papel de la academia

En el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM (LANCIS-IE-UNAM) abordamos el problema del agua de manera transdisciplinaria. La transdisciplina se refiere a una forma de hacer ciencia que va más allá de generar conocimiento por el conocimiento, y se propone permearlo a tomadores de decisiones y otros actores, como la sociedad, con el objetivo de contribuir a resolver integralmente los problemas que se abordan. Se trata entonces de generar conocimiento útil de forma colaborativa, por medio de un método de trabajo en el que participan académicos y no académicos para —en este caso— reducir la vulnerabilidad socio-hidrológica de la Ciudad de México. Un ejemplo de esa forma colaborativa de generar conocimiento es el proyecto piloto MEG-ADAPT (Adaptación Dinámica Multiescalar en Megalópolis) del LANCIS, que tiene como objetivo construir un modelo computacional dinámico para la Ciudad de México que funcione como herramienta de soporte de decisiones a través del cual se evalúen estrategias de adaptación ante los riesgos climáticos (Figura 2). El modelo es co-creado por todos los participantes, incluyendo

administradores de la infraestructura en la ciudad, habitantes que padecen diferentes tipos de afectación, científicos de diferentes disciplinas, entre las que se encuentran cuidado de la salud, meteorología, urbanismo, geografía e hidrología, y más. Esta herramienta de cómputo permite a todos los participantes considerar los diferentes ángulos del problema, no sólo los que corresponden a su área de interés. Juntos usan este modelo computacional para simular diferentes escenarios que les ayuden a reflexionar acerca del efecto que tienen sus decisiones en las perspectivas de futuro.

Las grandes ciudades son de todos: de quien las vive y de quien las gobierna, pero tratándose de su tránsito hacia la sostenibilidad, los cambios individuales son importantes y son un buen lugar para empezar, pero son un mal lugar para terminar. Es necesario vincular, a través de políticas públicas, la función de cada individuo a acciones más amplias, a visiones más grandes, a campañas más atrevidas. En este sentido, la labor de entidades científicas como LANCIS-IE-UNAM, que funciona “como un nodo de generación, integración y síntesis” que vincula al ámbito académico, tomadores de decisiones del sector público y a los diversos sectores organizados de la sociedad, puede ser crucial para avanzar en la agenda del desarrollo urbano sostenible que mira hacia las ciudades del futuro. 🌍

#### Para saber más

- Benson-Lira V., M. Georgescu, S. Kaplan y E.R. Vivoni. 2016. *Loss of a lake system in a megacity: The impact of urban expansion on seasonal meteorology in Mexico City*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 121: 3079:3099.
- Eakin, H., L.A. Bojórquez-Tapia, M.A. Janssen, M. Georgescu, D. Manuel-Navarrete, E.R. Vivoni, A.E. Escalante, A. Baeza-Castro, M. Mazari-Hiriart y A. Lerner. 2017. Urban resilience efforts must consider social and political forces. PNAS 114: 186-189. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620081114>.
- IA CNR3IO8. *Lecciones de transdisciplina en la evaluación del riesgo sociohidrológico en megaciudades: esquema de planeación colaborativa para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*.

**Yosune Miquelajauregui** es Investigadora del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS) del Instituto de Ecología, UNAM, donde desarrolla su línea de investigación sobre modelación matemática de sistemas socio-ecológicos. Participa en diversos proyectos transdisciplinarios en los que desarrolla algoritmos computacionales y modelación exploratoria, los cuales permitirán la evaluación de la vulnerabilidad y la adaptación de sistemas socio-ecológicos al cambio climático.

**Erika Luna** es egresada de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra, especializada en Ciencias Ambientales. Actualmente trabaja en su proyecto de tesis, el cual está enfocado en conocer los cambios en los patrones de precipitación y temperatura para el año 2050, en función de la expansión de la mancha urbana en la Ciudad de México.

**Rodrigo García** es Técnico Académico en el LANCIS. Estudió Ingeniero en Cibernética en la Universidad La Salle y cursa la Maestría en Ciencias de la Complejidad en la UACM. Cuenta con más de 18 años de experiencia en el diseño, implementación y operación de tecnologías de la información, con aplicaciones industriales en las áreas de inteligencia de negocios e infraestructura de internet, así como aplicaciones de cómputo científico en las áreas de genómica computacional, bioinformática y ciencias de la sostenibilidad.

**Fidel Serrano Candela** se desempeña como Técnico Académico en el LANCIS. Es maestro en Geomática y Físico de formación. Tiene más de 15 años de experiencia en Sistemas de Información Geográfica y en el diseño e implementación de soluciones computacionales con énfasis en modelación de sistemas socio-ecológicos y geovisualización.

**MEGADAPT: un modelo para entender la vulnerabilidad urbana**
**Luis A. Bojórquez-Tapia y Hallie Eakin**

La urbanización es uno de los procesos globales con mayores repercusiones en la sostenibilidad del planeta. No es posible subestimar la inmensidad de sus consecuencias. La magnitud y la aceleración con las que ocurre han llevado a que se le incluya en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de la Asamblea General de las Naciones Unidas. En esta agenda se reafirma, en su Objetivo 11, la necesidad de “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”, a la vez que se reconoce que “...las ciudades han permitido a las personas progresar social y económicamente”. Una de las maneras de sustentar la toma de decisiones para el desarrollo urbano es mediante la modelación de escenarios por computadora.

MEGADAPT (por los conceptos MEGACiudad-ADAPTación) es un proyecto de investigación que responde a la necesidad de los tomadores de decisiones de contar con esquemas de gestión innovadores para disminuir la vulnerabilidad de las grandes ciudades ante el cambio global, una misión fundamental de las ciencias de la sostenibilidad. El proyecto reúne las capacidades de investigación del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS) del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y las de la School of Sustainability (SOS) de la Universidad Estatal de Arizona (ASU, por sus siglas en inglés), para conformar un esquema de investigación que se distingue por sus innovaciones y contribuciones —tanto conceptuales como metodológicas— a las ciencias de la sostenibilidad.

MEGADAPT se centra en el análisis de la vulnerabilidad a los riesgos socio-hidrológicos en la Ciudad de México. Por riesgos socio-hidrológico se entiende al conjunto de interacciones entre la infraestructura suave o invisible (la estructura de relaciones sociales, reglas tácitas y escritas, y los demás mecanismos que hacen que un sistema social funcione), la infraestructura dura (la arquitectura, ingeniería, etcétera; la estructura visible y palpable), los procesos biofísicos (muchos de los cuales tienen que ver con el entorno natural de la urbe, como el clima y los ecosistemas que la rodean) y fenómenos como la escasez o exceso de agua y diversos factores que dañan la salud pública. Estos riesgos tienen una dinámica compleja: la infraestructura suave no sólo determina la infraestructura hidráulica de la ciudad (al ser la base de las decisiones que la afectan), sino que también modifica los procesos sociales, económicos y ambientales subyacentes a la vulnerabilidad. El cambio climático y el crecimiento urbano exacerbaban los riesgos

socio-hidrológicos y, por ende, repercuten indirectamente en la infraestructura suave, que es tanto o más importante para la vulnerabilidad de una ciudad que la infraestructura dura. Es por ello que en MEGADAPT se parte de la premisa de que la vulnerabilidad y la adaptación son resultado de un proceso socio-político que involucra normas y reglas sociales, valores personales y relaciones de diversos tipos que subyacen los miles de decisiones que toman los actores públicos y privados.

MEGADAPT se fundamenta en la teoría del paradigma de la complejidad, que implica el uso de métodos de modelación por computadora basados en algoritmos. Esta justificación teórica es substancialmente distinta a la predominante en los estudios de vulnerabilidad tradicionales. Dichos estudios tradicionales se sustentan en el paradigma de modelación basada en ecuaciones, para el que la vulnerabilidad es una condición que sigue un destino definido hacia un futuro fijo. Por el contrario, el paradigma de la complejidad o modelación basada en algoritmos concibe la vulnerabilidad como una propiedad emergente e incierta de un sistema en constante cambio, con un futuro que depende de múltiples variables. Esta concepción permite simular diversas acciones y decisiones, de distintos actores sociales, que conducen a una serie de futuros posibles (Figura 1). Dichas acciones y decisiones, asimismo, determinan las medidas de adaptación que se pueden tomar para disminuir la vulnerabilidad de la ciudad.

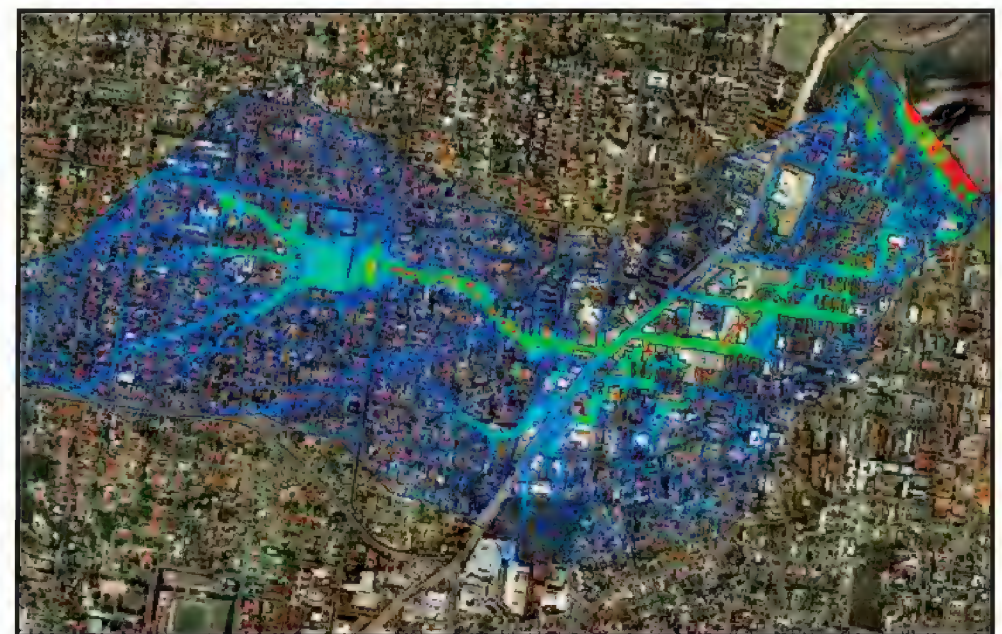


Figura 1. Resultados de MEGADAPT de la simulación de vulnerabilidad bajo el paradigma de modelación basada en ecuaciones, en la que se denota la severidad de una inundación con una escala de colores de azul (severidad mínima) a rojo (severidad máxima).

Parafraseando al economista W.B. Arthur, la diferencia entre los dos paradigmas, tradicional y complejo, reside, esencialmente, en las características o aspectos que se enfatizan como causa de la vulnerabilidad. El paradigma de modelación tradicional, o basada en ecuaciones, da énfasis a características que se describen mediante sustantivos: por ejemplo, ingreso económico, población, escurrimiento, infiltración o precipitación (sucesos). El paradigma de modelación basada en algoritmos, o en la complejidad, da énfasis a características que se describen mediante verbos; por ejemplo, mantener/construir nueva infraestructura, protestar ante la falta de agua, modificar la vivienda ya sea para capturar agua de lluvia o para evitar que se inunde, incrementar el crecimiento urbano o retener el escurrimiento (acciones).

La diferencia entre los dos paradigmas queda más clara con un ejemplo. Bajo el paradigma de modelación basada en ecuaciones, los mapas de riesgo de inundaciones se pueden generar mediante la combinación de modelos de simulación de crecidas de ríos e índices de vulnerabilidad (características sociales, económicas, físicas y ambientales) que indican qué tan vulnerable a los riesgos es una población o lugar en un momento fijo. Estos modelos de simulación se usan para calcular los volúmenes de escurrimiento en diferentes escenarios en los que podría ocurrir una crecida. Los resultados se integran en mapas en los que se delimitan las áreas y las profundidades de inundación a lo largo de los cauces de una cuenca urbana. Posteriormente, se integran los índices de vulnerabilidad en estos mapas. Esto hace posible encontrar e identificar geográficamente todos los factores que la construyen: sociales, económicos, físicos y ambientales (Figura 2).

Los mapas de riesgo de inundaciones que se derivan de la modelación basada en ecuaciones han demostrado ser, sin duda, de suma utilidad para identificar cuáles son las poblaciones que se ubican en zonas vulnerables a riesgos hidrometeorológicos extremos. Sin embargo, el método presupone tácitamente que la vulnerabilidad es un proceso invariante, que no cambia a raíz de las decisiones y acciones humanas. Es decir, el paradigma de modelación basada en ecuaciones relega a un segundo plano la

forma en la que la vulnerabilidad puede evolucionar (cambiar en el tiempo) como consecuencia de las respuestas de los actores sociales ante los riesgos. Esto hace que no se incluyan en las ecuaciones posibilidades como, por ejemplo, que una autoridad lleve a cabo acciones de gobierno para disminuir la vulnerabilidad que se señala en un mapa de riesgo de inundaciones. Si lo hace, inmediatamente modifica las condiciones del sistema y el entorno, y si sus acciones tienen la magnitud suficiente, las condiciones de riesgo identificadas en el mapa dejarán de ser vigentes (por ejemplo, si renueva la infraestructura y esto disminuye el riesgo de inundación). Además, al mismo tiempo, los habitantes de las zonas vulnerables también llevan a cabo acciones para enfrentar las inundaciones. Estas acciones implican cambios en los patrones de vulnerabilidad. Al ignorar este tipo de interacciones, el paradigma de modelación basada en ecuaciones resulta extremadamente limitado si se pretende identificar los mecanismos y las causas últimas de la vulnerabilidad.

El paradigma de la complejidad, en cambio, implica que la vulnerabilidad surge de la retroalimentación entre los patrones de riesgo y la respuesta de los actores sociales a estos patrones. Es decir, la vulnerabilidad y la adaptación a ella son resultado de los patrones generales que los elementos interactuantes del sistema crean, y de la forma en que estos patrones afectan, a su vez, la interacción entre esos elementos. Este proceso de cambio continuo dificulta enormemente la detección de patrones de vulnerabilidad, ya que es reflejo de un sistema cuyo comportamiento está regido por la incertidumbre extrema (Ver los seis rasgos que caracterizan la metodología MEGADAPT).

MEGADAPT aborda la difícil tarea de transparentar los procesos sociales y políticos que subyacen a la vulnerabilidad y la adaptación a riesgos socio-hidrológicos, al crear las condiciones para que las interacciones que componen estos procesos sean justas, abiertas, sin presión, y que en ellas se integren y respeten por igual todas las opiniones y el conocimiento de los diversos actores. Por este motivo, el trabajo de MEGADAPT no consiste solamente en superar grandes retos de investigación, sino que también puede

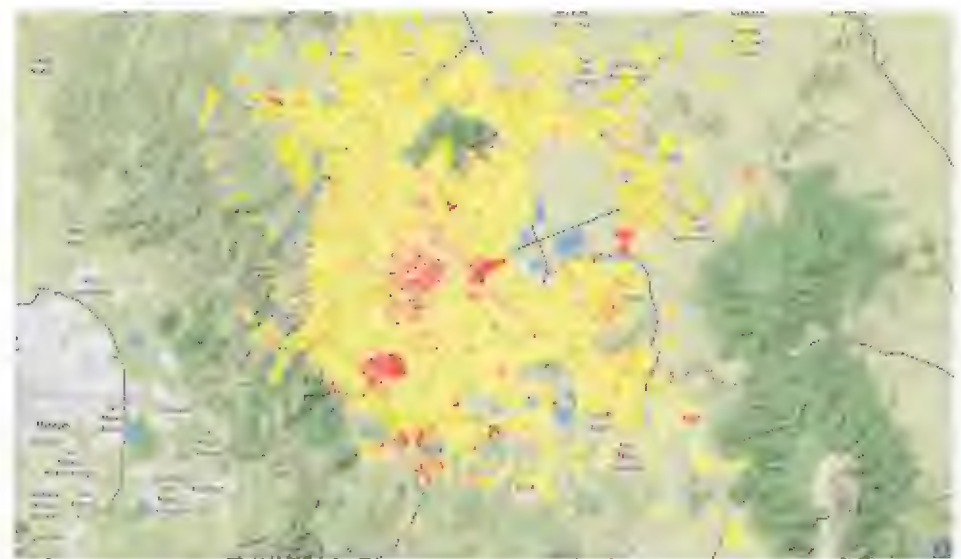
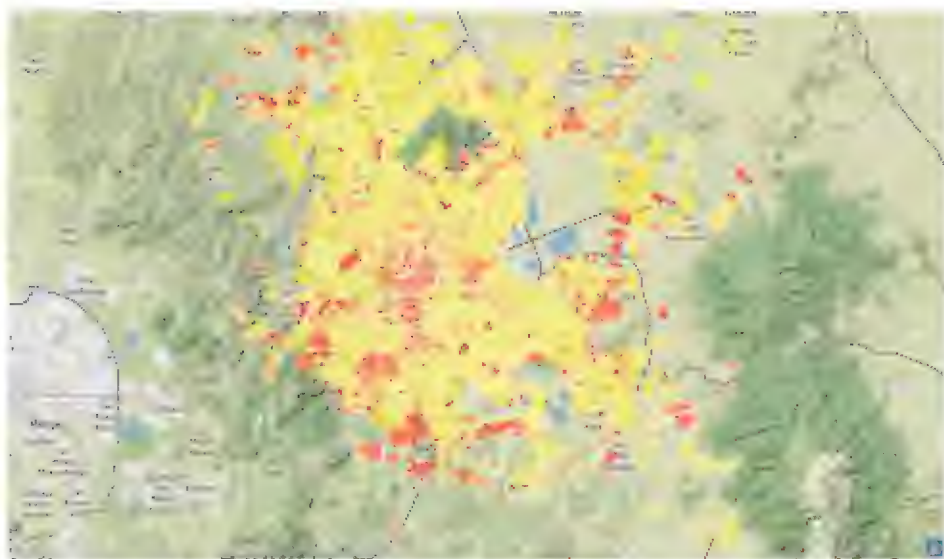


Figura 2. Resultados de MEGADAPT de la simulación de vulnerabilidad a los riesgos socio-hidrológicos, usando el paradigma de modelación basada en algoritmos y complejidad. Aquí se muestran dos futuros posibles, en una escala de amarillo (severidad mínima) a rojo (severidad máxima). El patrón de vulnerabilidad entre las dos figuras difiere según la conducta de una autoridad al escoger entre dos alternativas de ejecución de programas de gobierno: (1) maximizar la eficiencia en la disminución de la vulnerabilidad (derecha) y (2) minimizar las afectaciones a la población (izquierda).



considerarse un acto político en sí mismo, y, como tal, puede no ser bienvenido siempre. No obstante, la creciente carga que le implica a los tomadores de decisiones la gestión del riesgo en las ciudades y la urgencia por impulsar el desarrollo urbano sostenible crean oportunidades para lograr esquemas de toma de decisiones más transparentes y democráticos. Las ciencias de la sostenibilidad pueden y deben ayudar en la generación de metodologías innovadoras que, como en el caso de MEGADAPT, incorporen la complejidad de los riesgos socio-hidrológicos en la evaluación y la gestión de la vulnerabilidad. Es la mejor manera de garantizar que las urbes, en México y el mundo, sean verdaderamente inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. 🌍

### Para saber más

- Romero-Pérez, Clara. 2003. *Paradigma de la complejidad, modelos científicos y conocimiento educativo*. Universidad de Huelva.
- UNESCO. *Desastres relacionados con el agua y cambios hidrológicos*.
- UNESCO. *Manejo de riesgos como adaptación a los cambios globales*.

**Luis A. Bojórquez Tapia** es investigador del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad del Instituto de Ecología, UNAM. Sus investigaciones abordan temas de sostenibilidad bajo las perspectivas de la simulación de sistemas socio-ecológicos acoplados, el desarrollo de ciberinfraestructura para la toma de decisiones de problemas complejos y en condiciones de incertidumbre profunda.

**Hallie Eakin** es profesora de la *School of Sustainability* y profesora afiliada de la *School of Urban Planning and Geographical Sciences* y la *School for the Future of Innovation in Society* en la Universidad Estatal de Arizona. Sus investigaciones abordan temas de sostenibilidad, vulnerabilidad y adaptación al cambio global, así como sistemas alimentarios, gobernanza y tele-acoplamiento de sistemas socio-ecológicos.

## ¿Somos tan verdes como decimos? Análisis de las áreas verdes de la Ciudad de México

Cristina Ayala-Azcárraga

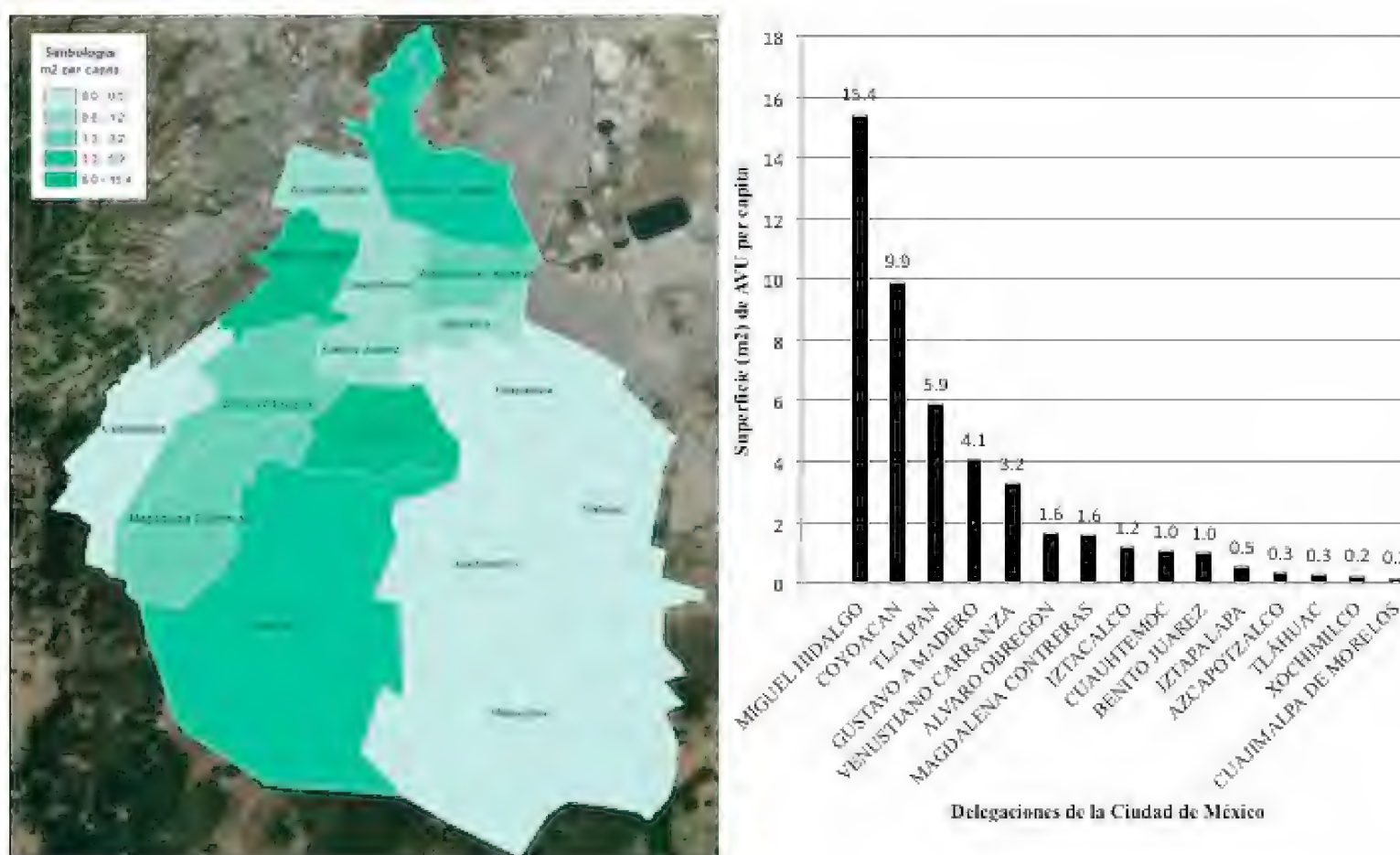
Recuerdo la voz de mi mamá emocionada al decirnos que nos iba a llevar a Chapultepec, recuerdo también haberme emocionado como si dijera que nos iba a llevar a Disneylandia. Pero lo que más recuerdo es haber pasado lo que me pareció una eternidad en el transporte público. Llegar desde Xochimilco hasta el Bosque de Reforma nos tomó 90 minutos y tres camiones. Con razón no nos llevaba tan seguido.

Ese recuerdo no es sólo mío. Le pertenece a miles de ciudadanos que se mudaron a vivir a la Ciudad de México, sacrificando el contacto con la naturaleza a cambio de mejores oportunidades de trabajo y servicios. Esta situación ha favorecido que más del 50% de la población mundial viva en estos sitios. Sin embargo, el crecimiento urbano desordenado ha conllevado altos niveles de cambio de uso de suelo y degradación ambiental, lo que a su vez tiene un impacto en la calidad de vida de los que la habitamos, ya que genera dilemas que nos afectan de diferentes formas. Es decir, si bien vivir en grandes urbes beneficia a las personas porque les da acceso a mejores condiciones de servicios de salud, al mismo tiempo, las ciudades tienen condiciones poco saludables porque propician un

ambiente de mayor contaminación y exposición a diversos factores que hacen que sus habitantes sean más vulnerables a padecer enfermedades. Estas contradicciones han provocado que cada vez sea más importante comprender qué variables, dentro de las ciudades, influyen en la calidad de vida de las personas, especialmente considerando que uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo es contar con ciudades sostenibles para 2030. Es decir, apenas nos queda poco más de una década para integrar la dimensión ambiental y económica al componente social urbano.

### El papel de las áreas verdes en las urbes

En la ciencia, cada vez se reconoce más que la naturaleza en las ciudades desempeña un papel mucho más importante en su funcionamiento que en su embellecimiento, principalmente por sus efectos positivos en el entorno citadino y para sus habitantes. Desde el punto de vista ambiental, las áreas verdes urbanas brindan diversos servicios ecosistémicos como la captura de carbono, la reducción de la contaminación atmosférica, el mejoramiento de



Superficie de Áreas Verdes Urbanas (AVU) per cápita por delegación en la Ciudad de México. Imagen: Tania Fernández.

la calidad del aire, una mayor capacidad de infiltración de agua y la preservación de la biodiversidad, los cuales contribuyen a la sostenibilidad de las ciudades.

Diversos estudios han demostrado que las áreas verdes tienen un efecto positivo en la salud de los habitantes de las ciudades. Un ejemplo clásico de los beneficios del contacto con la naturaleza es el experimento de Roger S. Ulrich, de la Universidad Tecnológica de Chalmers, Suecia, quien en 1984 comprobó que la recuperación post-operatoria de los pacientes con acceso a un paisaje natural era más rápida y menos dolorosa que la de los pacientes con vista a una pared de ladrillos.

Otros estudios han documentado que las áreas verdes urbanas contribuyen a mejorar la salud de la gente disminuyendo el estrés y fomentando el aumento en la actividad física, lo que trae consigo la reducción de enfermedades cardíacas, cardiovasculares, respiratorias y mentales. Además de estos beneficios para la salud individual, desde el punto de vista social, las áreas verdes juegan un papel importante en la formación de relaciones sociales de cooperación y confianza, contribuyendo a la construcción del tejido social de una comunidad. Al respecto, Peters y sus colaboradores constataron en el 2010 que estos espacios permiten la convivencia simultánea de diversos grupos étnicos, de diferentes edades y estratos socioeconómicos, que generalmente no se encontraban en el mismo espacio. La mezcla de estos grupos a su vez se vio reflejada en una mayor confianza entre vecinos, así como mayor sensación de seguridad y apego al lugar.

Dada la creciente evidencia de los beneficios que proveen a las ciudades mediante el servicio ambiental fundamental del bienestar en la calidad de vida de las personas, en las últimas décadas las áreas verdes urbanas han estado en el centro del discurso científico de la sostenibilidad urbana. Sin embargo, la distribución de la naturaleza dentro de las ciudades suele ser muy desigual, ya que está asociada a variables sociales como el poder adquisitivo, la educación y la etnia de los residentes. Esta disparidad en el acceso a las áreas verdes ha sido internacionalmente reconocida como una problemática de injusticia ambiental que los gobiernos deben atender de forma prioritaria.

### **Las áreas verdes en la Ciudad de México**

En la Ciudad de México, la Ley Ambiental del Distrito Federal (hoy Ciudad de México) define a las áreas verdes urbanas como “Toda superficie cubierta de vegetación natural o inducida que se localice en el Distrito Federal. Corresponden a las áreas verdes urbanas aquellas que se encuentran en el suelo urbano, en las zonas suburbanas y en las comunidades y poblados ubicados en el suelo de conservación”. Esta definición es tan amplia que incluso dentro de la misma Ciudad de México cada dependencia re-define, de acuerdo con sus criterios, lo que es un área verde. Esto se traduce en datos diferentes respecto a inventarios y censos oficiales.

Por ejemplo, en 2009 la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT) realizó un inventario de áreas verdes en el cual se afirma que los habitantes de la Ciudad de México cuentan con 14.4 m<sup>2</sup> per cápita (por habitante), cifra aceptable

ante los lineamientos internacionales, que sugieren un mínimo de 9 m<sup>2</sup> por habitante. Sin embargo, al considerar “áreas verdes” como “cualquier superficie cubierta de vegetación”, sin distinguir entre su tamaño, accesibilidad, características o uso potencial, no se piensa en el uso activo de estos sitios, que es el que le puede aportar mayor bienestar a las personas.

En los centros urbanos, la ubicación geográfica, el tamaño y la accesibilidad de las áreas verdes pueden facilitar o dificultar el uso de estos espacios; por lo tanto, estas características tienen un impacto en la cantidad de beneficios que podemos disfrutar sus habitantes al relacionarnos con las áreas verdes. Es por eso que para mí, como para miles de ciudadanos que debemos recorrer largos caminos para acceder a un parque, las cifras reportadas por los inventarios oficiales no representan nuestra realidad diaria.

Dado que la distribución de las áreas verdes dentro de las ciudades tiene implicaciones ecológicas y sociales que repercuten en el bienestar de sus habitantes, el identificar y exponer sus inequidades debería impulsar una mejor planificación urbana y mayor justicia ambiental. Sin embargo, para que esto pueda suceder, es necesario ubicar geográficamente las áreas verdes, considerando su uso como característica determinante. Sólo de esta forma podremos conocer realmente qué tanto acceso tenemos los ciudadanos a la naturaleza.

Con esto en mente, realicé una caracterización de las áreas verdes de la Ciudad de México para corroborar si en verdad la ciudad es tan verde como dice. Utilizando Sistemas de Información Geográfica y las bases de datos de áreas verdes de INEGI excluí aquellos sitios que a pesar de tener mucha vegetación son inaccesibles para uso público (como la vegetación de acompañamiento vehicular o los jardines particulares). Los camellones son considerados vegetación de acompañamiento vehicular, y, generalmente, son inaccesibles para las personas, por lo que en esta caracterización solo se incluyeron aquellos que miden más de 20 metros de ancho, porque suelen poseer un paseo central que permite hacer uso del sitio. El camellón de Paseo de la Reforma o los camellones de la Condesa son ejemplos de este tipo de áreas verdes.

Como resultado, identifiqué 1,353 áreas verdes que los ciudadanos pueden visitar, las cuales abarcan 2,643 hectáreas. Los resultados también indican que estas áreas verdes se encuentran repartidas de manera muy desigual entre las delegaciones, tanto en cantidad como en superficie. Es decir, algunas delegaciones poseen un gran número de áreas verdes concentradas en unas pocas colonias, otras delegaciones poseen pocas áreas verdes, pero distribuidas más homogéneamente en su superficie. Por ejemplo, Coyoacán es la que tiene el mayor porcentaje de estos sitios, repartidos en el 65% de sus colonias.

Respecto a la cantidad de estos sitios per cápita (por ciudadano), si consideramos la superficie de las áreas verdes urbanas, la delegación Miguel Hidalgo tiene casi 15 m<sup>2</sup> por habitante. En contraste, delegaciones más pobres, como Iztapalapa o Xochimilco, poseen menos de 1 m<sup>2</sup> por habitante (ver figura). Esto quiere decir que, si todos los habitantes de la Ciudad de México quisieran usar al mismo tiempo los espacios verdes, la superficie prome-

dio que cada habitante podría usar sería de apenas 3 m<sup>2</sup>, muy por debajo de las recomendaciones internacionales.

### Áreas verdes para cumplir la meta de ciudades sostenibles

Con estos resultados podemos decir que los inventarios oficiales realizados por las autoridades suelen pasar por alto el aspecto del uso y accesibilidad real de las áreas verdes urbanas. El presente estudio revela que si la PAOT sólo considera las áreas verdes a las que los habitantes de la Ciudad de México tienen acceso, entonces los resultados se alejan de las recomendaciones internacionales, ya que cuentan con cinco veces menos superficie de áreas verdes que lo reportado en su último censo.

La evidencia científica respecto a la mejoría en la salud física, mental, emocional e incluso social a la que contribuyen las áreas verdes es cada vez mayor. Sin embargo, es urgente integrar la investigación producida con la gestión de estos sitios. Para eso, es crucial que la academia tenga un canal de comunicación eficaz y constante con los tomadores de decisiones, ya que ambas partes buscan el bien de la ciudad y sus habitantes.

Para lograr traducir la ciencia en acciones se necesita, por un lado, trabajar en conjunto, academia y gobierno, para crear nuevas áreas verdes y proteger y priorizar las ya existentes. En el caso de los sitios en los cuales resulte imposible crear más metros cuadrados verdes, las pocas áreas existentes deberían ser ejemplo de mantenimiento y calidad. Ante ese escenario: calidad sobre cantidad.

Finalmente, es crucial reconocer que resulta útil tener la ubicación geográfica de las áreas verdes de la Ciudad de México, pero también se debe aceptar el déficit de áreas verdes que pueden ser visitadas que expone este artículo. La falta de inventarios que consideren únicamente las áreas verdes públicas ha provocado que las acciones de reverdecimiento se enfoquen en la creación de muros y azoteas verdes, intentando sustituir con estas alternativas la función biológica de los árboles. Estas estructuras más que contribuir a la solución de la problemática son un auto-engaño, ya que nos hacen creer que con ellas ya tenemos suficientes áreas verdes, ignorando la importante función biológica de elementos como los árboles anclados al piso.

El cambio de paradigmas en la gestión de las megaurbes, de ciudades demandantes de recursos a ciudades sustentables, nunca será fácil, pero es crucial para la supervivencia humana. Es urgente que tanto gobiernos como la ciudadanía en general asimile que el cuidado del ecosistema urbano va mucho más allá de la idea romántica de conservación. Bernie Sanders, político estadounidense, dijo: “una buena política ambiental es una buena política económica”. Las ciudades sostenibles deben integrar un nuevo paradigma, en el cual se apueste por la conservación de la naturaleza no como un lujo, sino como la necesidad que es. 🌱

**Cristina Ayala Azcárraga** es Bióloga y Maestra en Ciencias Biológicas de la UNAM. Actualmente escribe artículos de opinión y divulgación científica para la revista digital NEXOS y estudia el doctorado en Ciencias de la Sostenibilidad con un proyecto que analiza la relación entre las áreas verdes urbanas y el bienestar de los habitantes de la Ciudad de México.

### Para saber más

- Ayala Azcárraga, C. 2015. Más árboles y menos farmacias. *Revista digital Nexos*. Sección: La brújula.
- Ayala Azcárraga, C. y M. Moysen. 2016. El costo y el valor de los arboles. *Revista digital Nexos*. Sección: La brújula.
- Córdova, F., L. Zambrano y Á. Merlo. 2014. *Árboles contra calles*. DFensor, revista de la Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Gehl, J. 2014. *Ciudades para la gente*. 280 pp.
- Jansson, Å. y S. Polasky. 2010. Quantifying Biodiversity for Building Resilience for Food Security in Urban Landscapes: Getting Down to Business. *Ecology and Society* 15.

**Patricia Pérez Belmont**
**Transición rural-urbana**

En las megaciudades, las tasas de crecimiento poblacional y de urbanización son tan altas que rebasan las capacidades de planeación, lo que provoca una expansión de la mancha urbana que se observa como un paisaje desordenado hacia la periferia. Esta expansión de las grandes urbes en ocasiones logra alcanzar a los territorios rurales más cercanos, lo que conlleva a cambios en el entorno y en particular a los modos de vida de las comunidades rurales, formando una interfaz difusa entre ambas regiones: urbana y rural. Para las comunidades rurales la presión de la mancha urbana modifica especialmente su relación con el entorno natural y con las actividades económicas que realizan, principalmente de carácter agrícola y pecuario a pequeña escala y de bajo impacto. Al cambiar los modos de vida en estos nuevos espacios o franjas geográficas llamadas “zonas peri-urbanas”, se afectan ciertos procesos ecológicos, sociales y culturales. Son espacios en donde se mezcla lo urbano con lo rural.

En las zonas peri-urbanas la falta de planeación en la vivienda y de provisión de servicios como drenaje, electricidad,

agua potable y saneamiento, genera la aparición de los llamados asentamientos informales o irregulares. La población de dichos asentamientos al carecer de servicios, suele vivir en situaciones precarias y de marginación. Sumado a lo anterior, las zonas peri-urbanas están bajo un grave deterioro ambiental por el incremento en la generación de residuos y la demanda de recursos. Incluso la misma fragmentación del paisaje (observada como parches de zonas urbanizadas y semi-urbanizadas) afecta ciertos procesos ecológicos que con anterioridad las comunidades rurales mantenían conservados al convivir y sostener cierta armonía con la naturaleza. El incremento en el deterioro ambiental de las zonas peri-urbanas también afecta las actividades productivas. Por ejemplo, en la agricultura por la pérdida de suelo fértil, por la carencia de agua para riego e incluso por la dificultad para vender sus productos que hace que la agricultura se vuelva una actividad poco rentable.

La transformación del uso de suelo, el deterioro ambiental y la influencia de los estilos de vida urbanos, obligan de alguna manera a las familias de estas franjas de transición

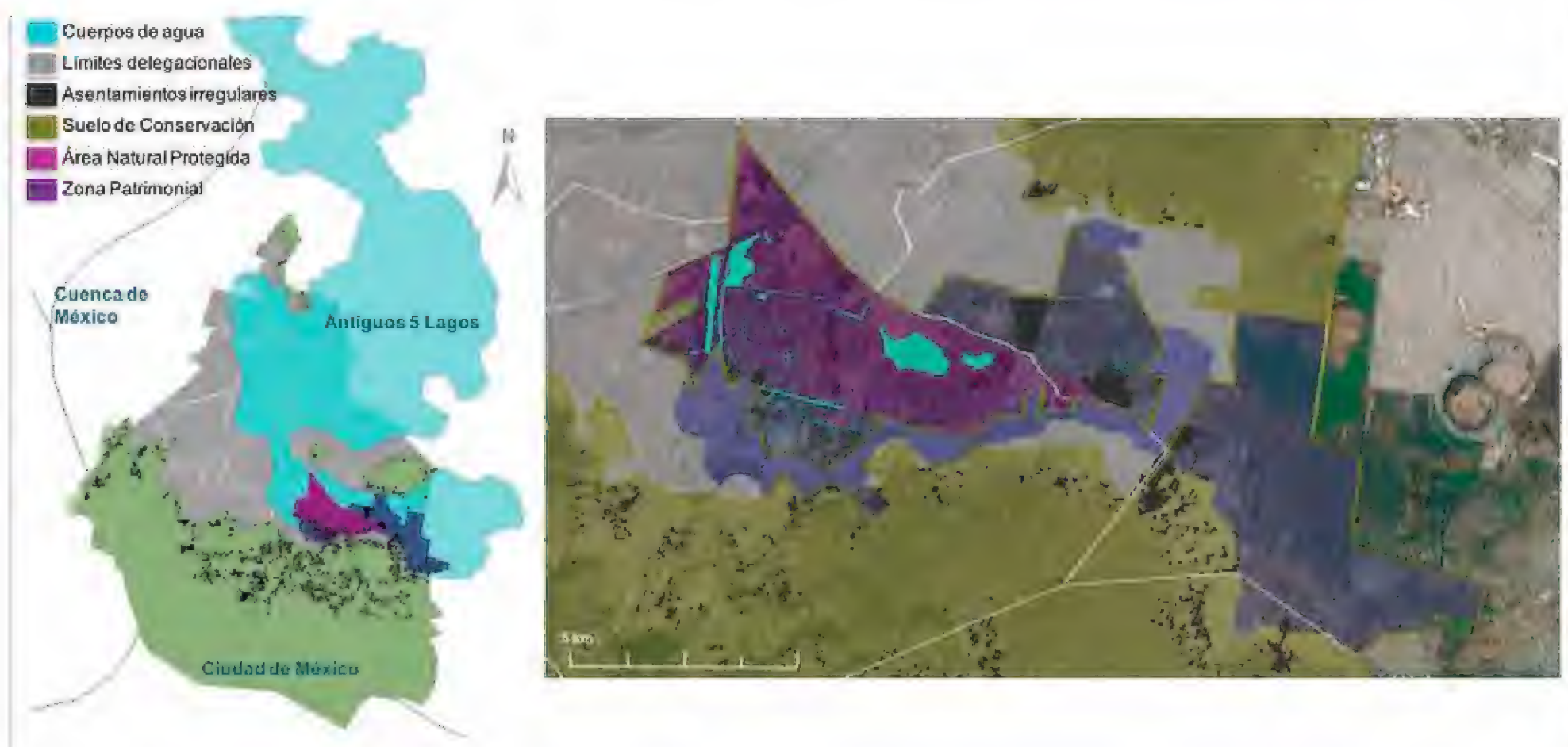


Figura 1. Ubicación de la zona chinampera y de canales de la Ciudad de México. Elaboración: Patricia Pérez-Belmont.

rural-urbana, a buscar alternativas laborales. Al diversificar sus actividades económicas, estas familias modifican su dinámica y estructura familiar, sus intereses y a su vez, su identidad rural caracterizada por un arraigo a la tierra, cultura y tradición. Las zonas peri-urbanas, por lo tanto, representan un antagonismo en donde por un lado está la necesidad de que los pobladores cuenten con viviendas dignas y los distintos servicios, llevándolas hacia la urbanización, y por otro lado, al perderse los modos de vida rurales, se pierden también tradiciones y la capacidad de mantener un ecosistema funcional.

A pesar de las problemáticas que surgen en las zonas peri-urbanas, se sabe que estas zonas también tienen el potencial de beneficiar a todo el gradiente poblacional que va desde los territorios rurales a los peri-urbanos y urbanos. Se han identificado incluso una serie de servicios ecosistémicos o ambientales que las zonas peri-urbanas pueden proveer. Algunos de estos servicios son por ejemplo, la mitigación de la isla de calor generada por las ciudades (ver *La Isla de calor urbana y la vegetación arbórea* en *Oikos=* 7) ya que la presencia de cuerpos de agua y de vegetación ayudan a regular la temperatura. Al ser reservorios de agua o zonas de infiltración y recarga de acuíferos, contribuyen también a la seguridad hídrica por la reducción de riesgos a inundaciones, y a la seguridad alimentaria, puesto que son zonas de producción agropecuaria. Debido a esta provisión de servicios ambientales, las zonas peri-urbanas pueden convertirse en áreas de oportunidades que benefician a todos los habitantes de las ciudades e incluso contribuir a la posibilidad de que las ciudades sean más sostenibles.

### Las chinampas de la Ciudad de México

La Ciudad de México es una megaciudad en donde se pueden apreciar zonas peri-urbanas que son el resultado su historia y situación geográfica. Esta ciudad se encuentra dentro de una cuenca hidrográfica en la que existían cinco grandes lagos tanto salobres como de agua dulce (Figura 1). La transformación de la cuenca se inició con los primeros asentamientos humanos, quienes tuvieron que adaptarse a las condiciones biofísicas del lugar. Los antiguos lagos de Xochimilco y de Chalco, ubicados al sur de la ciudad, se han utilizado, por sus aguas dulces, como sistemas de producción desde tiempos prehispánicos. En estos lagos se creó, en tiempos pre-hispánicos, uno de los sistemas agrícolas más productivos y

sostenibles del mundo: las chinampas, que consisten en camas de cultivo artificiales rodeadas por una red de canales (Figura 2). Este sistema de cultivo ancestral aún persiste en las reminiscencias de los lagos que se encuentran principalmente en la alcaldía de Xochimilco y, en menor medida, en la alcaldía de Tláhuac (al sur de la Ciudad de México) y en el pueblo de Mixquic, Estado de México. Con el paso del tiempo, las actividades agrícolas chinamperas se han ido modificando adoptando nuevas tecnologías que se alejan cada vez más de las formas de cultivo tradicionales, esto es una respuesta a las condiciones crecientes de urbanización convirtiendo el paisaje en uno de tipo peri-urbano.

Por su historia e importancia ecológica y cultural, la zona de chinampas y canales ha recibido el reconocimiento internacional y nacional para su protección y conservación. Son Patrimonio de la Humanidad, Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial y pertenecen a la zona administrativa de la ciudad denominada Suelo de Conservación (Ver en este número *¿Somos tan verdes como decimos? análisis de las áreas verdes de la Ciudad de México*). Para la Ciudad de México el suelo de conservación es un territorio destinado a la preservación de servicios ambientales que son necesarios para mantener la calidad de vida de los habitantes de la ciudad. La mayoría de los terrenos chinamperos están incluidos en el suelo de conservación (Figura 1) y son una mezcla de distintos tipos de propiedad ejidal, comunal, federal y privada. Bajo la categoría de uso de suelo de conservación, la construcción de tipo urbana no está permitida. Sin embargo, la zona chinampera se ha convertido en una zona con un acelerado desarrollo urbano informal debido a la falta de planeación y de vigilancia, falta de vivienda, a la migración y crecimiento poblacional, y al abandono de las prácticas agrícolas.

Actualmente la zona chinampera se observa como un paisaje fragmentado por la transformación del uso del suelo y, en algunas áreas, han desaparecido tanto las chinampas como la red de canales (Figura 3). Las modificaciones del uso de suelo en las chinampas son también el resultado de la aplicación de ciertas

Servicios ecosistémicos o ambientales, son los beneficios que recibimos de los ecosistemas, de los que depende nuestra salud y bienestar general.

Se clasifican en cuatro categorías que son servicios de provisión, de regulación, de soporte y culturales.

De: Pompa, S., L. Martínez y C. Equihua. 2010. Los beneficios gratuitos de la naturaleza. Revista *¿Cómo ves?* 144: 30-33.



Figura 2. Chinampas agrícolas tradicionales actuales rodeadas de canales. Fotografía: Patricia Pérez-Belmont.

En la Ciudad de México se cuenta con dos principales usos de suelo: Suelo Urbano y Suelo de Conservación. Este último denominado así por su riqueza cultural, económica y social, así como por los servicios ambientales que aporta para la ciudad.

medidas como maneras de adaptación que tienen que ver con cambios en las formas de cultivo tradicionales y con la adopción de prácticas mucho más tecnificadas. Las prácticas tecnificadas que se pueden observar van desde el uso de agroquímicos y de plásticos como macetas, semilleros, malla-sombra y motocultores; hasta la instalación de invernaderos completamente tecnificados que además, requieren instalaciones de servicios como luz y agua. Otras de las modificaciones del uso de suelo de las chinampas que tienen mayor impacto, sobretodo en el ambiente, son los cambios radicales hacia actividades que no están relacionadas con la agricultura como el turismo, eventos sociales o para construcción de casas con diferentes grados de consolidación (Figura 4). En este último caso, las modificaciones en el uso de las chinampas no son adaptaciones para la agricultura sino formas de transformación del paisaje.

Para poder comprender las razones por las cuales las chinampas se han ido adaptando o transformando, es importante hacer un análisis histórico para identificar qué eventos socio-ambientales, económicos y políticos, han fomentado los cambios en el uso de suelo. También es importante analizar los fenómenos actuales que motivan a los chinamperos a modificar el uso de suelo de las chinampas hacia las formas antes descritas. De esta manera, el mirar al pasado y el comprender el presente, nos permitirá en-

tender de una mejor manera los procesos de urbanización o de mantenimiento de la agricultura en un futuro. Así como también ayudará a proponer estrategias más atinadas que, por una parte no contrapongan las necesidades de la población local —como lo es la vivienda—, y por otra contribuyan a la preservación de este vestigio histórico y cultural que, además, ayuda al bienestar de la población de la Ciudad de México.

### ¿Cómo estudiar y entender la transformación del paisaje chinampero?

Uno de los estudios que ha ayudado a entender mejor los procesos históricos de transformación de la agricultura chinampera es el trabajo de Marcela Jiménez: Resiliencia y adaptabilidad del sistema chinampero de Xochimilco. Esta tesis es un trabajo crítico para evaluar cómo ciertos eventos históricos —como la conquista española, la Reforma Agraria y la actual urbanización— han impactado principalmente en las propiedades de resiliencia y adaptabilidad del sistema agrícola de chinampas. En este trabajo se observó que los elementos que han moldeado el destino de las chinampas e influido en la capacidad de seguir ofreciendo ciertos servicios a la ciudad, están relacionados principalmente con las variaciones en el régimen hídrico, la devaluación de la agricultura, y cambios demográficos y sociales de la población como lo son los cambios en los modos de vida, cambios entre generaciones y

Los conceptos de resiliencia y adaptabilidad están relacionados con la capacidad que tienen los sistemas socio-ecológicos de volver al equilibrio o buscar nuevos equilibrios después de pasar por una situación de estrés o de una perturbación.



Figura 3. Imagen aérea de la zona de canales, chinampas y barrios de Xochimilco. Fotografía: Patricia Pérez-Belmont, 2018.



Figura 4. Usos de suelo observados en las chinampas. Fotografías e imagen: Patricia Pérez-Belmont, 2018.

migraciones. Sin embargo, a pesar de la presión de la urbanización acelerada, las chinampas de Xochimilco, Tláhuac y Mixquic han logrado sobrevivir a 700 años de cambios, con excepción de algunas chinampas que aún quedaban hace algunas décadas en la zona de Iztapalapa. Entonces, ¿por qué es que aún sobreviven? ¿qué motiva a los chinamperos a continuar cultivando o a abandonar las chinampas, a lo que parece ser su último destino, la urbanización?

Para estudiar estos procesos de transformación en un contexto actual decidí, como parte de mi proyecto doctoral, explorar cuáles son los elementos que influyen en la decisión de los chinamperos sobre el uso de suelo de las chinampas y cuál es el resultado de dichas decisiones sobre el paisaje. Como una primera fase del proyecto entrevisté a los chinamperos que continúan trabajando la tierra y a aquellos que han vendido o construido sus casas en los terrenos donde antes solían cultivar. Les pregunté ¿por qué cree que ha cambiado el uso agrícola de las chinampas?, algunas de las respuestas las ilustro en la Figura 5 y de ellas se puede dilucidar que las razones abarcan temas relacionados con la cantidad y calidad del agua y el suelo, la falta de interés de las instituciones y de la comunidad, de conservar la chinampería, la pérdida del valor

de la agricultura, la facilidad con la que se propicia la urbanización y la baja rentabilidad que tiene ésta actividad.

Con base en los hallazgos anteriores identifiqué la necesidad de estudiar de manera más precisa y cuantificable, cómo se dan los procesos de prevalencia o de cambio en la agricultura y sus respuestas sobre el paisaje. Considerando que las dinámicas son complejas y las respuestas no son fáciles de predecir, planteé el uso de metodologías de análisis cuyo enfoque permitiera estudiar cómo las personas toman ciertas decisiones racionales ante diversas condiciones sobre el uso de los recursos, que en este caso son las chinampas. Después de un análisis de diferentes metodologías opté por un enfoque basado en juegos. Esta metodología implica el diseño de juegos de mesa tipo tablero, juegos de cartas o juegos de rol, con los cuales se puede explorar el comportamiento de las personas ante diferentes situaciones. Para la investigación en ciencias de la sostenibilidad, los juegos han sido útiles ya que permiten colocar a las personas en situaciones hipotéticas en las que deben tomar ciertas decisiones pero con base en una problemática real. A lo largo de una o varias partidas, los juegos le permiten observar al investigador, los fenómenos sociales de comportamiento como la cooperación o decisiones basadas en intercambios de bienes, recursos o incentivos. Por ello han sido utilizados recientemente como simulaciones de las relaciones y las dinámicas que operan en sitios o sistemas en donde hay un componente social y uno ecológico (sistemas socio-ecológicos), como es el caso del sistema chinampero

Para mi investigación diseñé un juego de mesa con un tablero en el que están representados “lotes” o celdas que equivalen a espacios donde se pueden colocar chinampas (Figura 6). Durante el juego, los jugadores —chinamperos— cuentan con una cierta cantidad de recursos como dinero, trabajo y agua, que podrán invertir en comprar chinampas y usarlos de distintas maneras como tener una chinampa sin cultivar, con cultivos, con invernadero o con una casa. Cada tipo de chinampa requiere de diferentes cantidades de recursos y tiene cierto valor en puntos. Conforme avanzan las rondas los jugadores se enfrentarán a diferentes desafíos que van cambiando las reglas del juego. Estos desafíos pueden ser que repentinamente el agua disponible se termina y para poder tener una chinampa con cultivo o con un invernadero se requiere una mayor inversión de dinero. Otro desafío es que de pronto el gobierno de un apoyo para que las chinampas con casa cuesten menos dinero o que de repente aumente el valor de los productos



Figura 5. Reflexiones de los chinamperos sobre el cambio del uso agrícola de las chinampas. Elaboración: Patricia Pérez-Belmont, 2018.





Figura 6. Juego de mesa sobre el uso de suelo en la zona chinampera con estudiantes del LANCIS-IE-UNAM. Patricia Pérez-Belmont, 2018.

agrícolas y que las chinampas con cultivos o invernaderos puedan darte más puntos. Al final, el ganador es quien logra una cierta cantidad de puntos.

La idea de este juego de mesa de tipo tablero es que nos permita estudiar bajo qué condiciones los jugadores deciden colocar diferentes tipos de chinampas, orientados ya sea por los recursos con los que cuentan o los desafíos que se les presentan. Al ser un tablero que representa el paisaje de las chinampas, se puede ir observando cómo cambian los usos de suelo y, al final, el paisaje, que puede ser un paisaje con chinampas cultivadas o uno con casas. A la iniciar el juego se les hace una pequeña encuesta a los jugadores para saber cuál es su origen, edad, estructura familiar, escolaridad, etcétera. Esta información se analizará posteriormente para identificar si existe alguna relación entre las decisiones que tomó cada jugador durante el juego con algún factor de la encuesta. Otra de las ventajas del juego es que se genera un espacio para la reflexión y el intercambio de ideas sobre cuáles fueron los factores que llevaron a los jugadores a cooperar o generar escenarios donde se beneficiaran tanto el sistema de chinampas, como los canales, y hasta a ellos mismos. También se pueden contrastar perspectivas de la problemática y contribuir a generar una consciencia de cómo las decisiones individuales pueden afectar por

completo el paisaje de una región. Por último, se crea un ambiente de discusión y propuestas innovadoras, con los que se puedan incluso retar los modelos actuales de crecimiento o de urbanización, y tomar decisiones informadas.

Para el diseño del juego consulté a un chinampero y a colegas del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM para ajustarlo y poder aplicarlo después, en talleres con chinamperos de la zona de estudio. Con la información obtenida de diferentes talleres, cuestionarios y partidas del juego haré análisis estadísticos y probabilísticos de cambios en el uso de las chinampas con el fin de plasmarlos con datos geográficos existentes. De esta manera generaré mapas de cambio de uso de suelo con base en la realidad de los chinamperos y que puedan ser utilizados para generar estrategias más atinadas que favorezcan el mantenimiento de la actividad productiva en las chinampas. Al mantener el sistema de chinampas y de canales se podría ayudar a frenar la urbanización de esta zona de la ciudad, a respetar el suelo de conservación y a preservar el vestigio vivo de este sistema ancestral de cultivo, que como ya se mencionó, representa una oportunidad para propiciar un futuro más sostenible. 🌱

#### Agradecimientos

Agradezco a UNAM-DEGAPA-PAPIIT- #IA301117 por el apoyo financiero para la realización de esta investigación.

**Patricia Pérez Belmont** es Bióloga y Maestra en Ciencias de la UNAM. Su trabajo se ha centrado en la ecología de humedales continentales, la evaluación de la calidad del agua y el monitoreo ambiental. Ha desarrollado proyectos de ciencia ciudadana y de investigación e implementación de actividades productivas sostenibles para la conservación de los sistemas socio-ecológicos con la sociedad civil, el sector privado y la academia. Actualmente es estudiante de doctorado en el Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad en la UNAM. Su enfoque de investigación es la modelación de sistemas socio-ecológicos periurbanos para explorar vías de sostenibilidad y resiliencia urbana en la Ciudad de México.

#### Para saber más

- Natoure. 2016. *Documental Reflexión*.
- Pathways to Sustainability. 2018. *Making the most of peri-urban services*.
- Pérez Belmont, P., L. Charli Joseph, E. Valiente Riveros y M. Mazari Hiriart. 2018. Xochimilco y sus chinampas: lecciones del sismo del 19 de septiembre de 2017. *Oikos=* 20: 19-24.

## Sostenibilidad en México

### Agua, ecosistemas y alimentos

Verónica Solares Rojas y Alonso Aguilar Ibarra

Cuando se nos antoja algo para comer, ya sea unos tlacoyos de haba con sus nopales, unas verdolagas en salsa verde, unos ricos frijoles con tortillas, o bien una ensalada, no nos detenemos a reflexionar sobre su origen y las condiciones necesarias para producir tales alimentos. Quizá a veces se nos olvida que todos estos productos llegan diariamente a nuestra mesa gracias a la agricultura, la cual, a su vez, depende de los llamados servicios ecosistémicos, que se pueden definir como los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas.

Entre los servicios ecosistémicos relacionados con la producción de alimentos destacan la polinización, la formación del suelo, la prevención de la erosión del suelo, el ciclo de nutrientes, el ciclo hidrológico y el control biológico de plagas y enfermedades. En este sentido, los servicios y beneficios ecosistémicos sostienen la seguridad alimentaria, que está estrechamente relacionada con el bienestar social (Figura 1).

Es importante reconocer que, si alteramos los ecosistemas, también afectaremos el ciclo del agua, o hidrológico, que la

mantiene en movimiento. En el ciclo hidrológico, los ecosistemas funcionan como captadores y almacenadores de agua, ya que del volumen que cae con las lluvias, una parte escurre por ríos y lagos, otra se infiltra a los acuíferos, otra se evapora o se transpira y otra se almacena en los tejidos vegetales. La cubierta vegetal juega un papel fundamental durante todo este proceso, ya que impide que el agua de lluvia escurra rápidamente. Así disminuye la erosión del suelo, se promueve la infiltración de agua que alimenta a los acuíferos y se da continuidad al ciclo hidrológico.

Dado que las plantas también requieren del agua para sobrevivir, una gran parte de la que cae con las lluvias no queda disponible para la sociedad, ya que queda “atrapada” en los tejidos vegetales. Por ello, algunos estudios como el de Ilstedt y colaboradores publicado en 2015 que evaluó la recarga de aguas subterráneas en función de la cobertura de árboles, han encontrado que la disponibilidad de agua superficial (en ríos y lagos) es menor en los extremos de cobertura. Es decir, la recarga es menor cuando hay una gran densidad forestal y también cuando hay muy poca.

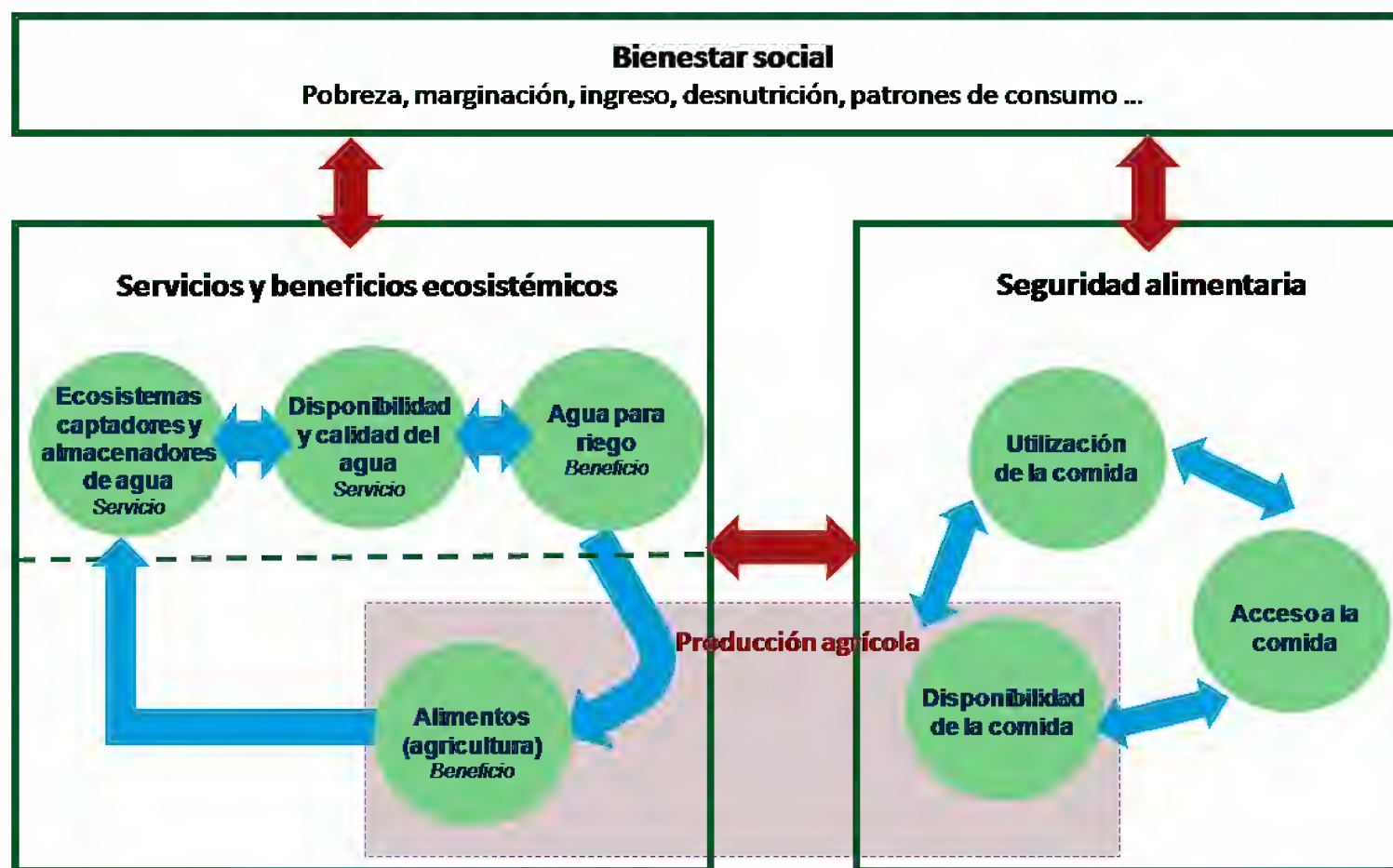


Figura 1. Los ecosistemas como proveedores y almacenadores de agua, son clave para la seguridad alimentaria y su relación con el bienestar social. Fuente: modificado del trabajo publicado por Polly J. Ericksen en 2008.

Por lo que existe un óptimo de recarga entre ambos extremos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en una zona deforestada el resultado es la erosión del suelo por lo que se altera el ciclo hidrológico a costa de la degradación de los ecosistemas y la cantidad de agua disponible disminuirá eventualmente. Una situación de este tipo es insostenible a largo plazo, ya provoca que se deterioren o pierdan más servicios ecosistémicos, no sólo los hídricos.

En la figura 2 se observa una zona deforestada en Chiapas, en donde, el papel de la evapotranspiración de la vegetación se reduce y, después de algunos años, la materia orgánica del suelo se perderá y entonces también se comenzará a perder el suelo (erosión). La consecuencia será un ciclo hidrológico alterado, una menor recarga del acuífero y menor disponibilidad para alimentos.

Para analizar cómo impacta la alteración de los servicios ecosistémicos hídricos a la seguridad alimentaria de las familias, realizamos un estudio en Chiapas como parte del Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad (UNAM) y financiado por el programa PAPIIT-UNAM, en el que evaluamos la modificación del servicio hídrico y su relación con diferentes indicadores de seguridad alimentaria. Para ello, calculamos el balance hídrico superficial o la cantidad de agua potencialmente disponible en Chiapas. Dado que en este estado ha habido pérdida de vegetación, evaluamos también cómo se modificó el volumen de agua disponible como consecuencia del cambio de uso del suelo realizado en los años 2002 y 2011, para los que existe información sobre uso de suelo y cobertura vegetal. El indicador resultante, al que denominamos modificación del balance hídrico, refleja el cambio en la disponibilidad potencial de agua provocado por el cambio de uso del suelo. La figura 3 explica de manera muy simplificada cómo se calculó dicho indicador.

Aunque en la literatura científica queda claro que los ecosistemas son fundamentales para mantener el ciclo del agua y que esto es importante para la seguridad alimentaria, prácticamente



Figura 2. Deforestación en Lacanjá, Chiapas.  
Fotografía: Jami Dwyer vía Wikimedia Commons.

no hay estudios que indiquen la dirección ni la magnitud de esta relación. En nuestro estudio se hizo evidente la importancia que tiene la cobertura vegetal en los volúmenes de agua disponible, mediante el cálculo de los balances hídricos ante cambios de uso del suelo. Encontramos, además, de manera cuantitativa, una relación entre la modificación del balance hídrico y el índice de pobreza alimentaria: cuando aumenta la modificación del balance hídrico (es decir hay más agua disponible), disminuye la pobreza alimentaria. En otras palabras, los cambios en el uso de suelo, debidos principalmente a factores como la deforestación, tienen repercusiones inmediatas en el balance hídrico. Se puede interpretar que, en el corto plazo (poco menos de una década en nuestro estudio), la pérdida de masa vegetal permite que inmediatamente haya más agua disponible para los cultivos y esto lleve a una mejora alimentaria, pero es importante resaltar que este beneficio ocurre en el muy corto plazo. El problema aquí es para nuestro futuro: la pérdida de grandes extensiones de vegetación y el mantenimiento de una agricultura poco sostenible altera el ciclo hidrológico y se empobrecen los suelos, ya que disminuye la

#### Balance hídrico superficial: simple y ponderado

El balance hídrico de una zona no es más que la cuantificación de la cantidad de agua que entra y sale del sitio a través del ciclo hidrológico, cuánta queda disponible a nivel superficial y cuánta en los acuíferos (Ordoñez, 2011). Para el cálculo del balance hídrico se emplea, por un lado, información cartográfica climática, hídrica y de usos del suelo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y climática e hídrica de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), por otro. Este cálculo nos da el balance hídrico simple, ya que no incluye el efecto de la vegetación presente.

Para conocer cuánta agua hay disponible, pero ya con el efecto de la vegetación presente, se calcula un balance hídrico que incluye dicha variable. Este valor se denomina *balance hídrico ponderado*. En dicha estimación se incluyen todos los tipos de usos de suelo y vegetación por lo que, además de las coberturas de vegetación, se incluyen los cultivos y las zonas urbanas. Entonces, la suma del balance hídrico superficial simple con el volumen de agua capturado en los distintos usos del suelo da como resultado el balance hídrico superficial total ponderado por vegetación, lo que permite distinguir cuánta agua hay disponible en zonas con tipos de vegetación diferentes.

Ordoñez, J. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico*. SENAMHI.



Figura 3. Esquema que explica cómo se estimó la cantidad de agua disponible en Chiapas. El balance hídrico simple es la suma de la cantidad de agua que se pierde por la evaporación y transpiración de las plantas, cuánta escurre en el ecosistema y cuánta se infiltra (ver Recuadro Balance hídrico superficial). Esta información se pondera, es decir considera el efecto de la vegetación presente en el volumen final de agua disponible, y para ello, a partir del balance hídrico simple se calcula cuánta agua retiene la vegetación. El indicador de la modificación del balance hídrico, o cambio de la disponibilidad de agua, se estima restando la cantidad de agua disponible en cada municipio y en cada año estudiado, considerando el cambio de uso del suelo entre 2002 y 2011. Imagen: elaboración propia.

materia orgánica. En el largo plazo, no hay duda que faltará agua para los cultivos y, por lo tanto, para nuestros tlacoyos, tacos o ensaladas. Al final la mejora alimentaria será fugaz y acabará por desaparecer.

En conclusión, el daño que ocasionemos hoy a los ecosistemas tendrá repercusiones en nuestra seguridad alimentaria futura. Debe considerarse que incluso cuando en el corto plazo podamos gozar de un poco más de agua disponible para la agricultura, habrá sido una ilusión, a largo plazo tendremos todavía menos agua y, por lo tanto, menos comida. La mayor disponibilidad es, entonces, temporal. Existen en México varios ejemplos exitosos en los que la colaboración academia y productores ha jugado un papel muy importante en el desarrollo de nuevos sistemas de producción sostenibles que permiten mantener los servicios ecosistémicos, entre ellos los hídricos. Por ejemplo, el proyecto comunitario del Ejido Tres Garantías en Quintana Roo, México para la producción de madera. La única alternativa que tenemos para nuestra seguridad alimentaria de hoy y del futuro, es el uso sostenible de nuestras áreas naturales. 🌱

#### Agradecimientos

Agradecemos los valiosos comentarios de Clementina Equihua Zamora, Lakshmi Charli-Joseph, Laura Espinosa Asuar y Luis Eguiarte Fruns. La UNAM (PAPIIT No. IN301617) y CONACYT (No.448116) aportaron financiamiento para este estudio.

**Verónica Solares Rojas** es Maestra en Ciencias de la Sostenibilidad por la UNAM. Su trabajo se ha centrado en temas de servicios ecosistémicos y seguridad alimentaria, relacionados con la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible y con el desarrollo de conjuntos de indicadores ambientales.

**Alonso Aguilar Ibarra** es doctor en Ciencias Agronómicas egresado del Instituto Nacional Politécnico de Toulouse, Francia. Actualmente se desempeña como Investigador Titular en el IIEC-UNAM, en la Unidad de Economía y Medio Ambiente. Es tutor y profesor del Posgrado de Economía y del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, en la UNAM.

#### Para saber más

- Aguilar Ibarra, A., R. Pérez Espejo, V. E. Solares Rojas, C. Martínez Córdova y V. S. Avila Foucat. 2017. *Servicios ecosistémicos relevantes para la soberanía alimentaria en México*. En: Torres Torres F. (Ed.). *Implicaciones regionales de la seguridad alimentaria en la estructura del desarrollo económico de México*: 179-213. IIEC-UNAM.
- Coates, D., P. L. Pert, J. Barron, C. Muthuri, S. Nguyen-Khoa, E. Boelee y D. I. Jarvis. 2013. *Water-related Ecosystem Services and Food Security*. En: Boelee, E. (Ed.). *Managing Water and Agroecosystems for Food Security*. CAB International, Oxfordshire, RU.
- FAO, Sagarpa, Sedesol, e INSP. 2013. *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012*.
- FAO. *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. <https://bit.ly/3EvfLX6>
- SEMARNAT. Conoce más sobre los servicios ambientales. En línea <https://bit.ly/3FBq9Oq>
- Villafuerte Solís, D. 2015. Rural Crisis, Poverty and Hunger in Chiapas. *Estudios Sociales y Humanísticos* 13: 13–28.

¿Amor platónico o amor real? La conservación de la selva y la subsistencia de su gente

Malena Oliva

Desde que las áreas naturales protegidas (ANP) se convirtieron en la principal estrategia para la conservación de la biodiversidad, el desafío de conciliar las metas de conservación con el bienestar de la gente que vive en estas áreas ha ido cobrando cada vez más relevancia. Particularmente, porque en las zonas tropicales es muy común que los sitios con altos niveles de biodiversidad y en buen estado de conservación (es decir, sitios ideales para crear ANP) estén habitados por comunidades locales y pueblos indígenas que hacen uso de los recursos naturales de su entorno. En México, 60% de las ANP se encuentra en tierras comunales, muchas de ellas pertenecientes a poblaciones indígenas.

Entre los diferentes tipos de ANP (ver *CAS: la trenza de la conservación, reservas y el impacto de la obra del Dr. José Sarukhán en Oikos= 14*), hay uno en particular que busca integrar la conservación y el bienestar de la gente: las reservas de la biósfera. Estas reservas buscan conservar los ecosistemas, pero de tal forma que, al mismo tiempo, se promueva el bienestar de la gente local — aquellos que viven dentro o cerca de estas áreas protegidas. Esto hace que las reservas de la biósfera sean esquemas singulares de conservación, ya que, por definición, sientan las bases para alcanzar el idilio, aparentemente imposible, de la conservación y el bienestar social.

En la Península de Yucatán, el aprovechamiento de las selvas por parte de las poblaciones rurales —principalmente mayas— es moneda corriente. Esta región alberga cinco reservas de la biósfera con ecosistemas terrestres, habitadas o rodeadas por comunidades, principalmente mayas, que obtienen de la selva distintos productos. Entre esos productos se encuentran la “carne de monte”, de animales silvestres que cazan para su subsistencia, la madera para leña y construcción de viviendas, el uso de la palma (principalmente palma de guano, *Sabal spp.*) para los techos de casas y palapas, y los espacios propicios para sembrar milpas, su sistema de cultivo de subsistencia tradicional.

Además de la leña y madera para construcción, la gran variedad de árboles de las selvas peninsulares también se aprovecha para hacer carbón vegetal. Éste, a diferencia de los otros productos de la selva, no se destina al consumo doméstico, sino a la venta.

En algunas comunidades del oeste de la Península de Yucatán, cercanas a la Reserva de la Biósfera Los Petenes (RBLP), en Campeche (Figura 1), la producción artesanal de carbón es la principal fuente de ingresos para las familias campesinas, cuyas estrategias de vida están muy diversificadas (una familia puede llegar a realizar hasta ¡nueve! actividades productivas o comerciales distintas).

Una de las características de la producción artesanal de carbón (Figura 2), que se vuelve relevante en un contexto de conservación, es que se lleva a cabo mediante el tumbado a matarrasa, práctica que contempla la tala total de un área de selva. Esta forma de manejo forestal es común en la región peninsular, donde, por ejemplo, el cultivo de la milpa se realiza bajo un esquema de rotación: el área que se aprovecha un año se deja descansar luego por un periodo de aproximadamente 10 años, en el que la selva se regenera; en un siguiente ciclo, esa selva regenerada será tumbada por completo (a matarrasa) nuevamente, para el cultivo de la milpa. En el caso del carbón, el tumbado a matarrasa se practica en la región desde hace al menos tres generaciones. En la región de los Petenes, una selva aprovechada de esta manera descansa un promedio de 10-15 años. Mientras tanto, se utilizan otros sitios que ya han sido explotados de la misma manera anteriormente, lo que da lugar a un aprovechamiento cíclico de la selva.

La cercanía de estas comunidades productoras de carbón con la Reserva de la Biósfera Los Petenes plantea un escenario potencialmente conflictivo, ya que en el futuro podrían enfrentarse

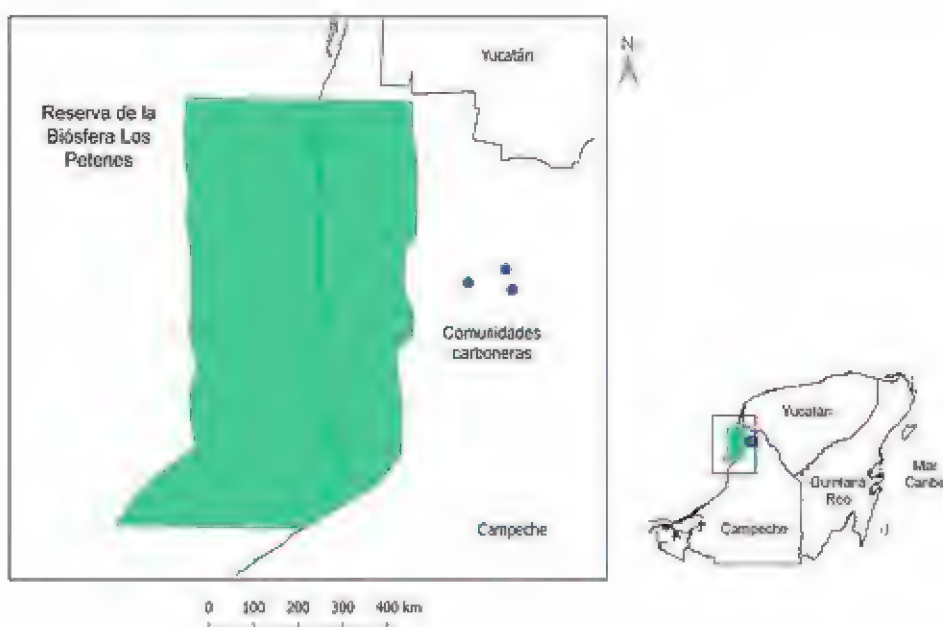


Figura 1. Ubicación de las comunidades productoras de carbón (puntos azules) en las afueras de la Reserva de la Biósfera Los Petenes  
Imagen: Malena Oliva, elaborado con el software QGIS 2.18.20.





Figura 2. Fases de la producción artesanal de carbón en una comunidad aledaña a la Reserva de la Biósfera Los Petenes. Las selvas de la región de Los Petenes son bajas o medias, con unas 678 especies arbóreas. De esas, al menos 15 son aprovechadas para hacer carbón. Imágenes: Malena Oliva. A. Corta de madera para hacer carbón. Pocas familias tienen motosierra. La mayoría de los productores utilizan hacha para cortar la madera, lo que aumenta de dos a seis días el tiempo de trabajo necesario para obtener la leña de una horneada. B. Apilado de la leña en forma de volcán, que luego será cubierta de pasto o zacate seco y finalmente tierra, generando así las condiciones adecuadas para la conversión a carbón. C. Vista del horno encendido. Una vez que comienza el proceso de transformación de leña a carbón, que toma aproximadamente una semana, el productor debe revisar periódicamente el horno (entre dos y tres veces al día) para verificar que el proceso de quemado se está desarrollando bien, que el horno no se desarma, y que no se quemará por completo convirtiéndolo todo en ceniza. D y E. Una vez que el carbón está listo, se procede a desarmar el horno con ayuda de palos y rastrillos. En esta etapa participan todos los miembros de la familia. F. Una vez esparcido el carbón sobre el suelo, se apaga utilizando agua que se vierte poco a poco con cubetas pequeñas o con la mano.



los intereses de protección de las selvas, defendidos por las autoridades de la Reserva y otras autoridades ambientales, y los intereses de aprovechamiento forestal de las poblaciones locales. Cuando existe un choque de posiciones y opiniones respecto al uso de un recurso natural en el contexto de una ANP, se habla de conflictos de conservación, tal como los definen Redpath y sus colaboradores en *Understanding and managing conservation conflicts*. En este tipo de situaciones, la gente interesada en un recurso natural (como las selvas) no suele estar de acuerdo en cómo se debe llevar a cabo el uso o conservación de ese recurso. Muchas veces, el conflicto se da porque una parte siente o percibe que la otra parte satisface sus intereses a expensas de los suyos. El principal desafío al manejar estos conflictos es lograr la conciliación de los intereses de conservación con los medios de vida de las poblaciones que habitan en esas regiones. Este es uno de los objetivos de las reservas de la biósfera.

### Producción de carbón en un contexto de conservación

Actualmente, la producción de carbón se lleva a cabo en las tierras ejidales de cada productor. Dado que los ejidos se encuentran fuera de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, ésta no tiene injerencia en las actividades que se desarrollan en las parcelas. Sin embargo, la Dirección de la Reserva ha manifestado su preocupación por la elevada intensidad de la actividad que, de acuerdo con su percepción, estaría degradando las selvas en las zonas aledañas a la reserva y generando un impacto ecológico negativo. Si las comunidades carboneras continúan explotando las selvas al ritmo actual, señala la Dirección de la Reserva, lo más probable es que acaben con las selvas de sus terrenos ejidales y entonces les resulte atractivo ingresar a la reserva para explotar los recursos forestales que se encuentran dentro de ella. Ante este escenario, la Dirección de la Reserva de la Biósfera Los Petenes ha identificado el potencial de conflicto, lo cual fue señalado por el director de la Reserva durante una entrevista que se le realizó como parte del trabajo de campo del proyecto de investigación que aborda este artículo.

Como resultado de reconocer el problema, la misma Reserva está desarrollando alternativas para abordarlo. La principal es la creación de un grupo de trabajo con los diferentes actores involucrados: los encargados de la Reserva, las comunidades carboneras, la sociedad civil organizada, las autoridades ambientales y la academia.

No obstante, se identifican dos posibles problemas que, de surgir, podrían ser preocupantes. Uno es el hecho de que se asuma, sin evidencia que lo respalde, que la producción de carbón está teniendo un impacto ecológico negativo de manera significativa en las selvas. Esto podría derivar en que la autoridad aplique el principio precautorio: ante la ausencia de información, se limita la actividad que parecería estar generando daño a la selva. Una medida precautoria como ésta tendría, a su vez, un impacto social perjudicial para las comunidades productoras, quienes verían afectada su principal actividad generadora de ingreso y, por tanto, se verían en la necesidad de buscar nuevos medios de vida (por ejemplo, migrar a los Estados Unidos o Canadá en busca de empleo).

El otro aspecto preocupante es la preponderancia de una noción no integral de la conservación entre las autoridades de la Reserva. Dicha noción se entiende como una visión reducida de lo que implica la conservación, en la que se separa la sociedad de la naturaleza y muchas veces no se toman en cuenta las formas locales de uso de recursos naturales. Esta noción también se observa en ciertas instancias de la normativa forestal; por ejemplo, en los mecanismos para solicitar autorizaciones de aprovechamiento forestal que son sumamente engorrosos y costosos para el contexto campesino local. En relación directa con el caso del carbón vegetal, dicha perspectiva se refleja, principalmente, en la desvalorización de las prácticas locales (como el tumbado a matarrasa) y en la premisa de que no son adecuadas para el manejo de las selvas.

El tema normativo en torno a la producción de carbón es complejo y extenso (recomendamos ver el análisis crítico que hace el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible [CCMSS]). En síntesis, la normativa forestal mexicana 1. ha creado procedimientos engorrosos y difícilmente costeables para que una comunidad rural obtenga las autorizaciones correspondientes para el aprovechamiento forestal y la producción de carbón (Figura 3) y 2. está desvinculada del contexto socio-ecológico peninsular. Esta falta de vinculación se refiere a que la normativa forestal y las autoridades que la aplican no reconocen como válidas o factibles las prácticas locales de producción, ni toman en cuenta que la velocidad de recuperación de las selvas de esta región es más

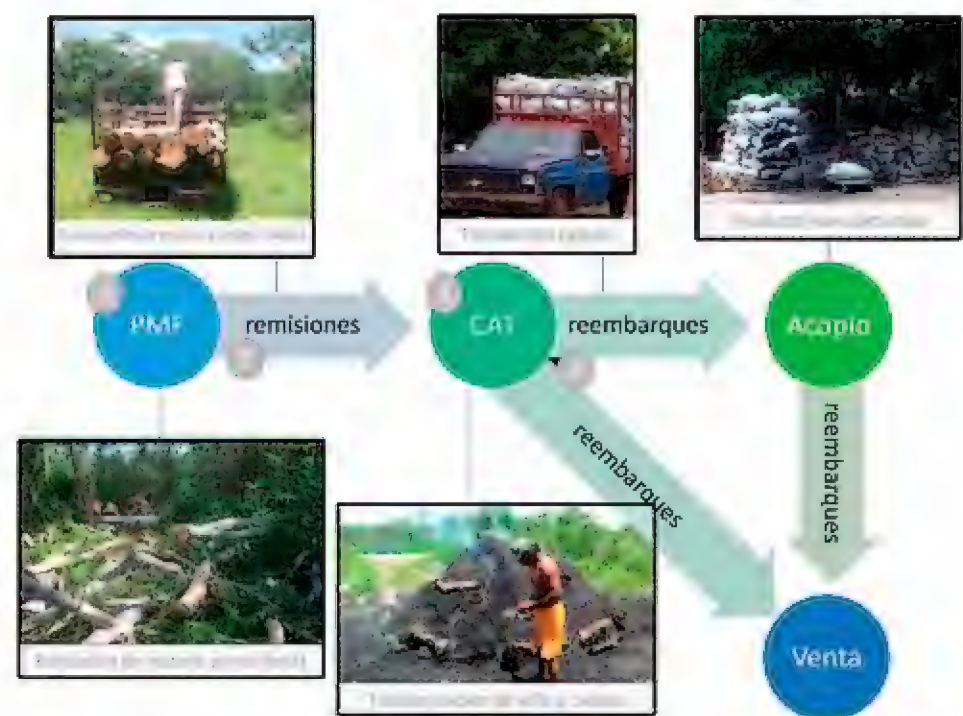


Figura 3. Permisos requeridos en las diferentes fases del aprovechamiento forestal y la producción de carbón. 1. En primera instancia, el ejido debe contar con un Programa de Manejo Forestal para extraer la leña. 2. El traslado de la leña al sitio donde se armará el horno debe estar respaldado por remisiones forestales, documentos que indican el volumen de madera trasladada. 3. Los sitios donde se arman los hornos (Centros Autorizados de Transformación, CAT) deben estar registrados ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 4. Una vez que la leña se ha transformado en carbón y es encostalado, para poder sacarlo del CAT y llevarlo a centros de acopio, se debe contar con reembarques, documentos que están asociados a las remisiones correspondientes y que contienen la relación de volumen de madera utilizada y de carbón producido.

Imágenes: Malena Oliva.

rápida que la de los bosques templados de otras partes del país. Sin embargo, un estudio reciente de Román Dañobeytia y sus colaboradores, publicado en la revista *Forests*, demuestra que las tasas de regeneración de las selvas peninsulares llegan a ser bastante rápidas (10 años), lo que hace factibles los ciclos de aprovechamiento a matarrasa y de descanso. Autoridades de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en Campeche confirmaron esta información, lo cual muestra que, aunque las autoridades ambientales que trabajan en la región de los Petenes reconozcan que las prácticas locales de aprovechamiento forestal (como el tumbado a matarrasa) no necesariamente generan un impacto ecológico negativo, ellos deben aplicar el marco normativo vigente, a pesar de su inadecuación al contexto local.

Estudios anteriores, como el de Betty Faust, publicado en la revista *Environmental Science & Policy*, y el de Denise Brown, de la revista *The Canadian Geographer*, retratan la noción maya de uso de la selva, rotativo y con periodos de descanso, que ha contribuido a moldear los ecosistemas de la península a lo largo de cientos de años. Así, se pone sobre la mesa el contraste entre la noción maya de la selva y lo que estos autores denominan la noción occidental de la selva, en la que la conservación se confunde muchas veces con la ausencia de uso. En contraste, argumentan, la selva maya ha sido históricamente utilizada de manera sustentable. Como se mencionó anteriormente, los organismos de regulación ambiental en México suelen aplicar esta perspectiva de la conservación sin aprovechamiento de recursos naturales, a pesar de que la normatividad mexicana permite dicho aprovechamiento en ciertos tipos de ANP (ver CAS: la trenza de la conservación, reservas y el impacto de la obra del Dr. José Sarukhán en *Oikos*= 12).

### Conciliando conservación y bienestar social

Lejos de adherirnos a la idea del “buen salvaje”, que asumiría que las prácticas mayas son inocuas por definición y no generan un impacto ecológico, es importante valorar objetivamente el efecto de esas prácticas, sin descartarlas a priori ni asumir que serán perjudiciales.

Cuando la aplicación de medidas de conservación implica la restricción de actividades relevantes para el sustento de las familias, cabe preguntarse ¿por qué las comunidades locales deben asumir el costo de la conservación, si se supone que todos nos beneficiamos de ella? ¿Quién define que así sea? ¿Se debe compensar a las comunidades por el costo de oportunidad de no utilizar las selvas (es decir, la posibilidad de generar un ingreso o beneficio que las comunidades pierden por no extraer recursos naturales de la selva)? ¿Ellas quieren ser compensadas? ¿O preferirían seguir utilizando rotativamente sus selvas?

Esas preguntas deben discutirse no sólo en el ámbito académico, sino también en la arena política. La vorágine propia de la operación de las dependencias públicas y de la sociedad civil organizada parecería no permitirnos el “lujo” de reflexionar sobre estas preguntas de la ética ambiental y de las ciencias de la sostenibilidad. Sin embargo, la necesidad de hacerlo se vuelve insoslayable, dado que, sin abordar esos temas, las acciones de conservación continuarán comprometiendo su propia efectividad y el bienestar de la gente.

Aunque las reservas de la biósfera ofrecen ventajas para abordar la relación conservación-bienestar, aún se deben superar condicionantes como los que se derivan del marco legal y de una visión limitada de la conservación, desvinculada de los contextos, prácticas e intereses locales. En ese sentido, resulta alentadora la disposición de la dirección de la Reserva de la Biósfera Los Petenes a establecer el diálogo con los productores locales de carbón en busca del consenso, lo que seguramente derivará en mejores decisiones sobre cómo construir escenarios de conservación dignos para la gente que vive en y de las selvas, que sean compatibles con las ANP aledañas a sus tierras.

Aunque, en muchos casos, la coexistencia de iniciativas de conservación y de actividades de subsistencia aparece como una meta inalcanzable y enfrenta numerosos obstáculos, existen casos en los que se ha logrado compatibilizar, como en la Reserva de la Biósfera Maya, en Guatemala, o en el ejido 20 de Noviembre, en Calakmul, México. En todo caso, la aparente incompatibilidad surge de los obstáculos institucionales y legales que se enfrentan a la hora de implementar las estrategias de conservación, más que por las estrategias en sí mismas.

Si esto se supera, es posible conciliar el bienestar humano con la conservación de los recursos naturales, e incluso puede haber una relación sinérgica entre ambos, en la que un ambiente conservado brinda oportunidades de vida a las poblaciones locales, y éstas, al realizar un aprovechamiento sostenible de las selvas u otros recursos naturales, contribuyen a su conservación en el tiempo. Se ha probado que esto es posible, y es una vía factible —si no la única— para transitar hacia un futuro equitativo y sostenible. 🌍

**Malena Oliva** es candidata a doctora en el Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, que desarrolla en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES) de la ENES Unidad Morelia, UNAM. Es Licenciada en Gestión Ambiental (UE Siglo 21, Argentina) y Maestra en Ciencias en la Especialidad en Ecología Humana (CINVESTAV-IPN, México). Su línea de investigación aborda las dimensiones sociales de la conservación, principalmente en áreas naturales protegidas.

### Para saber más

- Büscher, B., R. Fletcher, D. Brockington, C. Sandbrook, W. Adams, L. Campbell, . . . y K. Shanker. 2017. Half-Earth or Whole Earth? Radical Ideas for Conservation, and Their Implications. *Oryx* 51: 407-410. [doi.org/10.1017/S0030605316001228](https://doi.org/10.1017/S0030605316001228)
- Fernández-Vázquez E. y N. Mendoza-Fuente. 2015. *Sobrerregulación forestal. Un obstáculo para el desarrollo sustentable de México*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible.
- Halffter G. 2011. Reservas de la Biosfera: Problemas y Oportunidades en México. *Acta Zoológica Mexicana* 27: 177-189.
- Smardon, R. C. y B. B. Faust. 2006. Introduction: International Policy in the Biosphere Reserves of Mexico's Yucatan Peninsula. *Landscape and Urban Planning* 74: 160-192. [doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.002](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.002).



## Análisis y mapas de vulnerabilidad en México

Abril Cid Salinas

La palabra *vulnerabilidad* domina la discusión sobre el cambio climático. Sin embargo, la diversidad de definiciones de vulnerabilidad se traduce en visiones contrastantes, que van desde discursos apocalípticos en las que cualquier acción se percibe como inútil hasta argumentos tecnócratas en los que el avance tecnológico se percibe como suficiente para reducirla o eliminarla. No obstante, la diversidad de visiones sobre la vulnerabilidad no debe ser un obstáculo para analizarla y abordarla.

La vulnerabilidad al cambio climático varía dependiendo la región y, generalmente, los países en vías de desarrollo son más vulnerables. De acuerdo con la Office for Disaster Risk Reduction de la ONU, los costos de los desastres naturales son cinco veces mayores en estos últimos que en los países desarrollados. Esto ocurre porque varias de las perturbaciones y tensiones crónicas como las amenazas climáticas y la pobreza suceden en un contexto en donde las capacidades de manejo de riesgos y de adaptación son insuficientes. Por ello, los países con menos elementos para enfrentar las consecuencias del cambio climático son los que van a afrontar mayores costos.

En el caso de México, la vulnerabilidad se ha abordado más desde un enfoque de respuesta que desde un enfoque preventivo. Por ejemplo, el presupuesto del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) representa menos del 3% del presupuesto que recibe el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN). En un contexto en el que las perturbaciones y tensiones crónicas van a ser exacerbadas por los efectos del cambio climático, se requiere abordar la vulnerabilidad desde un enfoque integrado reactivo y preventivo y las Ciencias de la Sostenibilidad tienen mucho que aportar al respecto.

### ¿Pero entonces... qué es la vulnerabilidad?

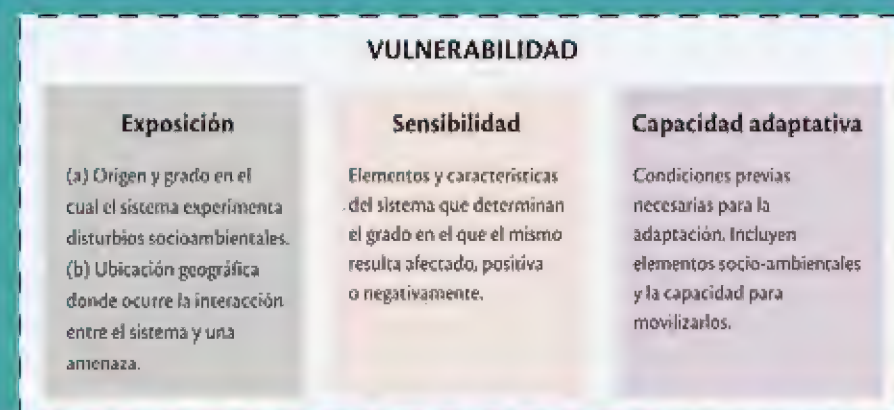
En México, la vulnerabilidad se define como “los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos” conforme a la Ley General de Cambio Climático (LGCC). No obstante, la aplicación práctica de esta definición ha resultado difícil porque existen diversos enfoques y metodologías para analizar la vulnerabilidad. Pese a que el instrumento de política pública fundamental para la atención de la vulnerabilidad es el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático, la atención a riesgos se sustenta en los atlas de riesgos estatales y municipales que, por diseño, no requieren incorporar escenarios

### Vulnerabilidad

En el contexto de las Ciencias de la Sostenibilidad, la vulnerabilidad es el grado en el que un sistema socio-ecológico (que se basa en la interacción entre las actividades humanas y el entorno biofísico) o un componente de este sistema resultan dañados o afectados.

En general, los componentes determinantes de la vulnerabilidad son: la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa del sistema vulnerable. La exposición se refiere a las características de la amenaza según el punto geográfico en el que interactúa con el sistema vulnerable. La sensibilidad la determinan los elementos y características del sistema que modulan los efectos de la amenaza (el estado de los manglares, por ejemplo). Estos dos componentes, la exposición y la sensibilidad, se definen por las características del sistema vulnerable que determinan su susceptibilidad al daño, mientras que la capacidad adaptativa comprende las características del sistema que reducen dicha susceptibilidad al daño, o que le permiten responder y recuperarse.

Imagen: Transparencia Mexicana, 2017. Exposición y Capacidad adaptativa con base en SEMARNAT e INECC (2014); y Sensibilidad con base en IPCC, 2007; IPCC, 2014.



de riesgo climático ni criterios de vulnerabilidad (ver Resultados y recomendaciones de la evaluación estratégica del avance subnacional de la Política Nacional de Cambio Climático).

Para efectos de análisis, la vulnerabilidad se puede definir de dos formas. Por un lado, la vulnerabilidad es el resultado directo de la exposición a una amenaza. Esta definición forma parte de un enfoque de riesgo, consistente con el de la Ley General de Protección Civil (LGPC). Por otro lado, la definición de la vulnerabilidad puede considerar además las características de lugares o poblaciones vulnerables (sensibilidad y capacidad adaptativa) y es consistente con el enfoque de la LGCC. La diferencia entre ambos enfoques se puede resumir en que, bajo el enfoque de riesgo, la atención a la vulnerabilidad se dirige a las fuentes de exposición, como son el oleaje y lluvias intensas asociadas a huracanes, y a la ubicación de poblaciones en zonas de riesgo, como barrancas. Bajo el otro enfoque, la atención a la vulnerabilidad se dirige a las condiciones socioeconómicas y a las tendencias de desarrollo económico que determinan que poblaciones susceptibles se ubiquen en zonas de riesgo. El enfoque de riesgo resulta limitado porque no considera los mecanismos o condiciones socioambientales que empeoran o reducen los impactos del cambio climático, como las tendencias de desarrollo económico que generan condiciones de marginación alrededor de polos turísticos, de acuerdo a Gamez y Angeles en su artículo de 2010. No obstante, el enfoque afín a la LGCC también resulta limitado si no se consideran simultáneamente las fuentes de exposición y las condiciones socioambientales inherentes a las zonas o poblaciones vulnerables. Es más, de acuerdo a la evaluación de la Política Nacional de Cambio Climático, aún es necesario conciliar los enfoques planteados tanto en la LGPC como en la LGCC entorno a un lenguaje común sobre el concepto de vulnerabilidad. En el marco de las Ciencias de la Sostenibilidad, Turner y colaboradores, en su publicación de 2003, sugieren utilizar una visión sistémica para definir la vulnerabilidad. Ello implica que la entidad vulnerable no es un sitio o una población humana, sino que es todo el sistema socio-ecológico. Además, se consideran en conjunto tanto la exposición a amenazas como las mismas características del sistema, tales como el grado de desarrollo humano o la calidad ambiental, pues estas características modifican los efectos de dichas amenazas.

### ¿Cómo medir esta vulnerabilidad?

Hinkel, en su publicación *Indicators of vulnerability and adaptive capacity*, explica que, debido a que la vulnerabilidad es una construcción teórica y no es un fenómeno observable, se requiere identificar y cuantificar elementos susceptibles de ser medidos (variables) y que indiquen condiciones de vulnerabilidad. Una forma de evaluar la vulnerabilidad es a través de la construcción de indicadores. Dado que la vulnerabilidad es una condición particular al sitio y al contexto donde surge, el uso de indicadores es particularmente útil debido a que se tienen que utilizar datos de diversa índole, como socioeconómicos y biofísicos, y compararlos en distintas escalas espaciales (comunidad, región, país, etc.) y temporales (meses, años, décadas, etcétera). Por ello, al

transformar los indicadores a una misma escala de medida (p.e. de intervalo, ordinal, etc.) al final se pueden comparar entre sí, aunque los datos originales no se pudieran comparar. Además, los indicadores se pueden construir a partir de una sola variable (indicador sencillo) o se pueden formular a partir de múltiples variables que pueden agregarse en índices. Los índices son útiles porque permiten la comparación entre unidades, que pueden representar lugares o poblaciones humanas, y su clasificación en distintas categorías; por ejemplo, alto, moderado y bajo.

### ¿Qué son los mapas de vulnerabilidad?

En términos prácticos, los mapas de vulnerabilidad permiten generar una representación visual de los indicadores e índices que forman parte del análisis de vulnerabilidad. En *Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems*, Eakin y Luers, explican que los mapas de vulnerabilidad son herramientas que permiten identificar áreas vulnerables al cambio climático. En un artículo publicado en 2011, Preston y colaboradores también señalan que son relevantes para orientar al público sobre los riesgos asociados al cambio climático, para traducir e integrar el conocimiento de diversos actores y para servir como referencia en el diseño de medidas de adaptación efectivas.

Pese a su relevancia como herramientas de soporte de decisiones, existen limitaciones en los métodos y en los datos disponibles para analizar la vulnerabilidad y visualizarla en mapas. La selección de los datos debe considerar tanto los límites espaciales de la zona vulnerable como la extensión de las amenazas que determinan la vulnerabilidad. Existe, sobre todo, una incompatibilidad de las escalas de variables socioeconómicas y biofísicas, lo cual puede introducir sesgos y errores en los procesos de agregación de indicadores e interpretación de mapas de vulnerabilidad. Por ejemplo, los modelos regionales de variabilidad climática y cambio climático, que son los datos disponibles con los que cuentan las autoridades para tomar decisiones, se consideran poco precisos como para utilizarse en la proyección de los efectos del cambio climático a escala local. Pese a que existen iniciativas para generar datos a una escala pertinente para la toma de decisiones, como el *Atlas Climático Digital de México*, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, aún faltan mayores esfuerzos por desarrollar sistemas de alerta temprana que comuniquen la información de vulnerabilidad de forma efectiva al público. Estos esfuerzos deberían considerar el alcance de su aplicación potencial, dado que casi la mitad de la población mexicana carece de acceso a internet de

#### Indicador

De acuerdo con Sterzel y colaboradores, 2015, un indicador es una función de una variable que simplifica la complejidad de un fenómeno en un solo valor.

acuerdo al INEGI, y es probable que parte de ese sector de la población se encuentre en condiciones de marginación, lo que los hace más vulnerables y menos preparados para responder y adaptarse al cambio climático.

### La vulnerabilidad de las costas de México

México tiene 11,000 km de litoral costero, por lo que sus costas son particularmente vulnerables a los desastres asociados a perturbaciones que van a ser exacerbadas por el cambio climático. En particular, 152 municipios tienen litoral costero, de los cuales alrededor de una tercera parte se encuentra expuesta al efecto de los ciclones tropicales (ver Atlas Nacional de Riesgos), es vulnerable al cambio climático y carece de capacidades institucionales para responder y adaptarse al cambio climático. Por ello, el análisis de la vulnerabilidad y los mapas de vulnerabilidad son particularmente importantes en las zonas costeras.

### Conclusiones

La forma en que definimos a un sitio o población vulnerable determina la ruta de acción para abordar su vulnerabilidad. Por ello la existencia de normatividad en materia de cambio climático es un avance, pero no es suficiente en tanto no exista una articulación de las instituciones e instrumentos pertinentes, como el Atlas de Riesgo y Atlas de Vulnerabilidad. Integrar los enfoques de la LGPC y de la LGCC implica que la atención a la vulnerabilidad no sólo se centre en el manejo del riesgo que supone el cambio climático, sino que además considere los factores sociales y ambientales que agravan el riesgo. Con el propósito de implementar estrategias de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad al mismo tiempo que generen las condiciones para un desarrollo sostenible. 🌱

**Abril Cid Salinas** Estudió Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, y tiene una Especialidad en Economía Ambiental y Ecológica, del Posgrado de Economía, y una Maestría en Ciencias, con orientación a Biología Marina, del Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, ambos de la UNAM. Es candidata a Doctora en Ciencias de la Sostenibilidad, en la misma universidad. Sus líneas de investigación son el cambio global, la vulnerabilidad y la resiliencia; en particular, el análisis de la vulnerabilidad de los sistemas socio-ecológicos costeros y la elaboración de indicadores de capacidad institucional para la adaptación al cambio climático a nivel municipal.

### Para saber más

- *Cambio climático ¿cómo afecta?* Portal [www.ciencia.unam.mx](http://www.ciencia.unam.mx) (<http://bit.ly/cienciaunamCC>)
- Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. 2018. *Atlas Climático Digital de México*.
- Centro de Ciencias de la Atmósfera. *Atlas climático digital*. Índice.
- Portal *El cambio climático de frente*. <http://elcambioclimaticodefrente.inecc.gob.mx/>
- INECC. *El cambio climático nos toca*. (<http://bit.ly/CCnostoca>)
- INECC. 2017. *Medición multidimensional de capacidad institucional a nivel municipal que fomenta la adaptación al cambio climático*.
- INECC. *México ante el cambio climático*. (<http://bit.ly/MexicoCC>)
- Lerner AM y L. Charli-Joseph. 2018. *Marcos teóricos para el estudio de los sistemas socio-ecológicos y las ciencias de la sostenibilidad*. En V.S. Ávila-Foucat y M Perevotchkova (Ed.) *Sistemas socio-ecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México*. Cd. Mx, México. Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- SEMARNAT. *Cómo afecta el cambio climático a México*. (<http://bit.ly/CCafectaMexico>)
- Transparencia Mexicana. *Capacidad institucional de los municipios de Chiapas, Tabasco y Yucatán para adaptarse al cambio climático*. <https://bit.ly/3mC64zI>

## Cambia, todo cambia. Agua y sostenibilidad en la Sierra Wixárika

**Shiara K. González-Padrón**

—¿Y tú qué haces?

— Estudio un doctorado en Ciencias de la Sostenibilidad.

Mi respuesta siempre resulta un poco desconcertante. Regularmente, mi interlocutor se queda con un gesto de duda y, justificadamente, sin la menor idea de lo que implica, por lo que viene la segunda pregunta:

—Y eso... ¿de qué se trata?

Y continúo:

—Trabajo con comunidades indígenas en la Sierra Huichol, al norte de Jalisco, frontera con Nayarit, tratando de entender procesos de cambio.

Y es que, como dice Mercedes Sosa: “Cambia, todo cambia”.

**Victoria fue muy clara cuando me dijo:  
“Ven a ver a María antes de la luz del amanecer”.**

Los problemas actuales que amenazan la viabilidad de las sociedades humanas y del medio ambiente son cada vez más complejos y de mayor escala. Encontrar los caminos que llevan a la sostenibilidad ambiental, al bienestar humano y a la vez a la justicia social, se ha convertido en uno de los mayores retos a los que nos enfrentamos hoy en día. Abordar la incertidumbre y complejidad



Niñas con sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), comunidad La Laguna. Fotografía: M. Balderas.

está más allá del alcance de cualquier disciplina, por lo que se necesita un enfoque más inclusivo y sistémico.

Uno de los principales compromisos que emanan de las ciencias de la sostenibilidad es el de abrazar la complejidad y buscar la equidad intergeneracional que permita satisfacer las necesidades actuales (y vaya que habría que redefinir eso que llamamos “necesidades”) sin comprometer las capacidades de futuras generaciones para satisfacer las mismas. Para esto es indispensable entender a mayor profundidad los cambios e interacciones que están ocurriendo dentro de los sistemas socio-ecológicos.

**Aún no sale el sol.  
Llevamos más de cuatro días sin luz,  
se fue en una noche de tormenta y no ha regresado,  
por ahí dicen que ya debe andar muy lejos de aquí.**

En el contexto de un país en desarrollo, multicultural, megadiverso y cambiante como México, donde la complejidad es evidente, los elementos del sistema no son separables y, por lo tanto, no pueden estudiarse aisladamente.

México es el segundo país con mayor población de la región Latinoamericana y del Caribe (LAC) después de Brasil. Es uno de los cinco países con mayor diversidad biológica, y a la par se ubica dentro de los diez países con mayor diversidad cultural del mundo. Lamentablemente, tanto en materia de la conservación de la biodiversidad, como del entendimiento y valoración de su diversidad cultural, aún hay un gran camino por recorrer. Actualmente, el 79.3% de la población indígena en México vive en condiciones de pobreza o pobreza extrema, y las comunidades wixáritari —a veces llamadas huicholes— que se localizan en la Sierra Madre Occidental no están ajenas a esta realidad.

**Me tocó levantarme temprano para lo que se podría llamar  
una “cita médica” en la Sierra Wixarika,  
aquí todo es diferente a lo que acostumbramos**

Los wixáritari son reconocidos como unos de los grupos indígenas mesoamericanos que mantienen parte de su autonomía y cosmovisión a pesar de los cambios de la pujante modernidad actual. La mayor parte del pueblo wixárika habita en la Sierra Madre Occidental, en los municipios de Mezquitic, Jalisco y el



Nayar, Nayarit, catalogados por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL hoy Secretaría de Bienestar) como municipios con muy alto grado de marginación.

La mayor parte del pueblo wixárika vive en comunidades de menos de 500 habitantes, compuestas por rancherías de alrededor de 50 personas, aunque los programas asistenciales actuales y la infraestructura (como caminos, escuelas y electricidad) están atrayendo a cada vez más personas a las cabeceras comunitarias. Estas comunidades viven principalmente en zonas boscosas de pino-encino, subsistiendo de la agricultura de temporal (maíz, frijol y calabaza) para autoconsumo, la ganadería a pequeña escala y la creación y venta de artesanías. El relieve montañoso, aislamiento geográfico y su dispersión en el territorio dificultan el acceso a servicios básicos como atención médica, agua potable y drenaje.

**Caminé aún a oscuras a su encuentro, me acerqué al fuego y vi a María, descalza, se me acercó con sus canas blancas y arrugas en la cara...  
quién sabe cuántas fogatas hayan visto esos ojos cansados.**

Hace ocho años, en mi primera visita a México, tuve la dicha de asistir al primer viaje de trabajo de un proyecto llamado Ha Ta Tukari “Agua Nuestra Vida”. Este proyecto lo lleva a cabo una alianza de asociaciones no gubernamentales (Isla Urbana, Proyecto ConcentrArte, Desarrollo Rural Sustentable Lu’um e IIRI México). Dentro de sus muchas actividades, *Ha Ta Tukari* ha estado instalando Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en los hogares de las comunidades La Cebolleta y La Laguna, donde el acceso al agua potable es muy limitado. Sin los sistemas SCALL las mujeres y los niños, los principales encargados del abastecimiento de agua en el hogar por acarreo, deben caminar en promedio dos horas al día para obtener menos de 15 litros que utilizarán para su consumo diario.

**Me quedé parada mientras ella se movía de un lado para el otro, se lavó la cara, miró el tejuino (fermentado de maíz), atizó el fuego.  
Yo sólo miraba el fuego con la sensación de estar en otra realidad.**

La instalación de estos sistemas, sumado a programas educativos para la adopción a través de la educación ambiental y el trabajo con mujeres artesanas, busca mejorar no sólo el acceso y la calidad del agua de consumo, sino también la salud y el bienestar de estas comunidades.

**Se me acercó, me preguntó si estaba enferma, como pudo pues casi no habla español, le señalé mi panza.**

Ocho años no son nada para entender a profundidad una cultura como la wixárika, pero sí es suficiente tiempo para entender la relevancia de conocer el contexto del sistema que se quiere investigar. En mi estudio, como alumna del posgrado en Ciencias de la



Acarreo de agua en época de secas por una de las mujeres de la comunidad.  
Fotografía: S. González-Padrón.

Sostenibilidad, utilizo metodologías mixtas (cualitativas y cuantitativas) para entender los procesos de cambio que han ocurrido tanto a nivel comunidad como dentro del hogar. Para esto, y gracias a la colaboración del médico de la comunidad el Dr. Claudio Alejando, analicé datos de casos de enfermedades diarreicas en los últimos años y se observa una disminución significativa del número de casos ocurridos a partir del 2014, que coincidió con la instalación de los primeros sistemas de captación de agua de lluvia hasta el 2017. Por otro lado realicé un análisis de calidad de agua dentro del hogar en dos temporadas (secas y lluvias) y estoy en el proceso de analizar las muestras del agua de consumo en el hogar (sea de los SCALL o de otras fuentes de agua) y mis resultados preliminares muestran que la calidad del agua de los SCALL son de mejor calidad. Sumado a esto, se llevaron a cabo talleres (por ejemplo véase el sitio Steps Center: Pathways to sustainability) y entrevistas semi-estructuradas con herramientas diseñadas para lograr un entendimiento verbal y visual, evitando la exclusión de personas que no hablan español. Mi experiencia confirma que cuando las metodologías se diseñan con conocimiento y sensibilidad al contexto es posible obtener información real y confiable de las comunidades en las que se lleva a cabo investigación, particularmente para la sostenibilidad.

**María acercó su cara a mi panza y absorbió.  
Se paró y escupió en su mano izquierda, con la derecha quitó la saliva y la tiró por la puerta abierta,  
y me mostró su palma izquierda diciendo “una piegra”.**

Si bien esta investigación no es antropológica, estos años de trabajo de campo me han permitido asistir con la mente abierta a la “cita médica” con María y al hikuri neixa (danza del peyote), con lo que he logrado profundizar en las relaciones personales y ver muy de cerca lo que sucede en estas comunidades indígenas.



Aplicación de entrevista semi-estructurada y calendario. Fotografía: M. Mena.

Cambios en los patrones de precipitación, el surgimiento de plagas, la pérdida de suelos productivos, el lento proceso de desertificación y el agotamiento de las fuentes de agua son algunos de los cambios biofísicos que están ocurriendo y que afectan a las personas que viven en La Laguna y La Cebolleta. Sumado a éstos, están los cambios que ocurren como consecuencia de lo que llamamos “desarrollo”; por ejemplo, la construcción de carreteras y escuelas, la llegada de la electricidad e incluso la llegada de proyectos desde el sector no gubernamental, como *Ha Ta Tukari*. Específicamente, y tomando en cuenta la relación de estas familias, particularmente mujeres, con el recurso del agua, he encontrado evidencia de que a partir del uso de SCALL en el hogar, las mujeres perciben mejoras en el acceso a agua en cantidad (en número de litros por persona al día) y calidad (coloración y sabor) y disminuye el tiempo que dedican al acarreo.

Uno de los hallazgos interesantes hasta ahora fue que la percepción de los cambios en aspectos de salud (enfermedades gastrointestinales) no están asociadas con los cambios a la cantidad y calidad de agua. La percepción de los wixáritari de la ocurrencia de enfermedades y otras calamidades son asociadas a castigos por no cumplir con “el costumbre”, lo que representa un ejemplo claro de cómo la complejidad del contexto es esencial en cualquier trabajo que busque entender interacciones dentro de sistemas socio-ecológicos. Y, como en cualquier investigación que aborda problemas complejos, me surgen más preguntas a medida que voy profundizando en el entendimiento de este sistema: ¿cuáles son las consecuencias de lo que llamamos “desarrollo” en este contexto?, ¿hasta qué punto queremos generar cambios profundos en los aspectos culturales de comunidades indígenas?, ¿cuáles son los caminos que llevarían a estas comunidades a transitar hacia un estado más sostenible y a ser menos vulnerables en un contexto de cambio global? 🌱



Aplicación de herramienta visual (calendario Eco-Cosmo-Salud), comunidad La Cebolleta. Fotografías: S. González-Padrón.

**Shiara K. González-Padrón** Estudió la licenciatura en Medicina Veterinaria en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado de Venezuela, siempre con pasión por la conservación de la fauna silvestre. Vino a México por primera vez en 2010, donde realizó prácticas profesionales en la Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT, y volvió en 2011 para iniciar la Maestría en Ciencias dentro del Departamento de Fauna Silvestre de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM. Convencida de que las problemáticas actuales requieren de respuestas inter y transdisciplinarias, ingresó al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM, en la Ciudad de México, en el que actualmente es candidata a doctora. Su principal área de interés son los procesos de transformación que requieren los sistemas socio-ecológicos para transitar hacia la sostenibilidad. Su tesis se centra en los cambios ocurridos a partir de la introducción de sistemas de captación de agua de lluvia en dos comunidades indígenas (Wixáritari) en Jalisco, México.

#### Para saber más

- García, R. 2006. *Sistemas complejos*, 1–200. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- González, S., L. Charli-Joseph y B. Tellman. 2018. *Mapping a transforming world in the sierra huichol, Mexico*. Steps Centre. Pathways to sustainability.
- Isla Urbana ([www.islaurbana.org](http://www.islaurbana.org))
- Proyecto ConcentrArte ([www.concentrarte.org](http://www.concentrarte.org))
- Taller LU'UM ([www.tallerluum.com.mx](http://www.tallerluum.com.mx))



## Cómo transitar hacia una ganadería tropical sostenible

Rocío Santos-Gally, Karina Boege, Juan Fornoni y César A. Domínguez

Uno de los desafíos más importantes de la humanidad durante las siguientes décadas será lograr un balance entre las actividades productivas necesarias para alimentar a una población creciente y la conservación de los sistemas naturales necesarios para sostener la vida del planeta. Entre los mayores obstáculos para superar este desafío está el cambio climático global que experimenta la Tierra, ya que puede afectar de manera negativa a todas las actividades humanas y la biodiversidad del planeta.

En este contexto, un gran reto es generar soluciones de producción que contribuyan a alcanzar un desarrollo sostenible, garanticen el bienestar de la población y disminuyan la pobreza y desigualdad social. Al mismo tiempo, es indispensable no comprometer la disponibilidad de los recursos naturales para las generaciones futuras.

### Problemas de la ganadería tropical

La ganadería convencional es un ejemplo del severo desbalance entre la conservación y la producción de alimentos, ya que se sustituyen los ecosistemas nativos por grandes extensiones de pastizales. En todo el mundo, la ganadería es la causa principal de la destrucción de diversos ecosistemas y de la desaparición de las especies que habitan en ellos. La ganadería extensiva también ocasiona erosión y empobrecimiento de los suelos, contaminación de cuerpos de agua, y representa una de las principales fuentes de emisión de metano —un gas liberado como producto de la digestión de las vacas—, que a su vez contribuye al calentamiento global.

La ganadería tropical tradicional, además de presentar algunos de los problemas antes citados, ocupa grandes extensiones de pastizales con una densidad muy baja de vacas (Figura 1A). Es decir, es un sistema poco eficiente, ya que los suelos tienden a perder sus nutrientes y microorganismos y a compactarse al paso del ganado. Por otro lado, al eliminar los árboles de los pastizales se suprime la sombra y se incrementa considerablemente la temperatura local. Además, se reduce la disponibilidad de agua para el ganado y para el ecosistema en general. La ganadería extensiva también causa la contaminación de las fuentes naturales de agua por el nitrógeno de los fertilizantes y el estiércol de las vacas, mientras que la sustitución de la vegetación nativa provoca la desaparición de muchas especies benéficas para el hombre, como las abejas polinizadoras y otros insectos que consumen y contribuyen

a la descomposición de la materia orgánica (los escarabajos, por ejemplo).

En las regiones tropicales, el deterioro provocado por la ganadería extensiva compromete el bienestar y la salud del ganado, pues el calor dentro de los potreros hace que las vacas pierdan apetito. Por consiguiente, también disminuyen sus tasas de crecimiento y producción de leche. Además de tener vacas poco productivas, los productores se ven obligados a gastar más dinero en fertilizantes para mejorar el suelo y la calidad del forraje, y en herbicidas para controlar las malezas. Por si fuera poco, a veces tienen que comprar costosos concentrados comerciales o forraje de maíz para completar la dieta de su ganado. Como resultado, la ganadería tropical tradicional produce carne y leche de baja calidad, poco rentable, con grandes costos ambientales y que, además, se vende a precios bajos, ya que los mercados están acaparados por intermediarios que dejan ganancias mínimas a los pequeños productores.

Sin embargo, las actividades agropecuarias son la base del sustento de muchas familias en las comunidades rurales de las zonas tropicales y forman parte de su identidad cultural. En este contexto, resulta fundamental encontrar soluciones creativas para este complejo problema de sostenibilidad. Soluciones que permitan acercarse a un balance entre la economía, el bienestar social y la conservación de los ecosistemas.

### ¿Qué se puede hacer para lograr una ganadería tropical sostenible?

Desde el punto de vista social, alcanzar un sistema productivo sostenible implica no sólo mejorar la rentabilidad económica de lo que se produce y los ingresos de los productores, sino lograr que esto se traduzca, en general, en bienestar para la población local, disminuyendo la pobreza y la desigualdad sin comprometer los recursos naturales que serán el sustento de las generaciones futuras.

En el contexto de la ganadería, este objetivo puede lograrse a través de sistemas silvopastoriles intensivos, una modalidad agroforestal que combina una distribución de plantas en diferentes niveles (Figura 1B). En el nivel más bajo se encuentran pastos y herbáceas, enseguida arbustos o árboles plantados en altas densidades y, finalmente, árboles dispersos en el potrero, donde se pueden incluir arreglos de especies maderables, frutales y forra-

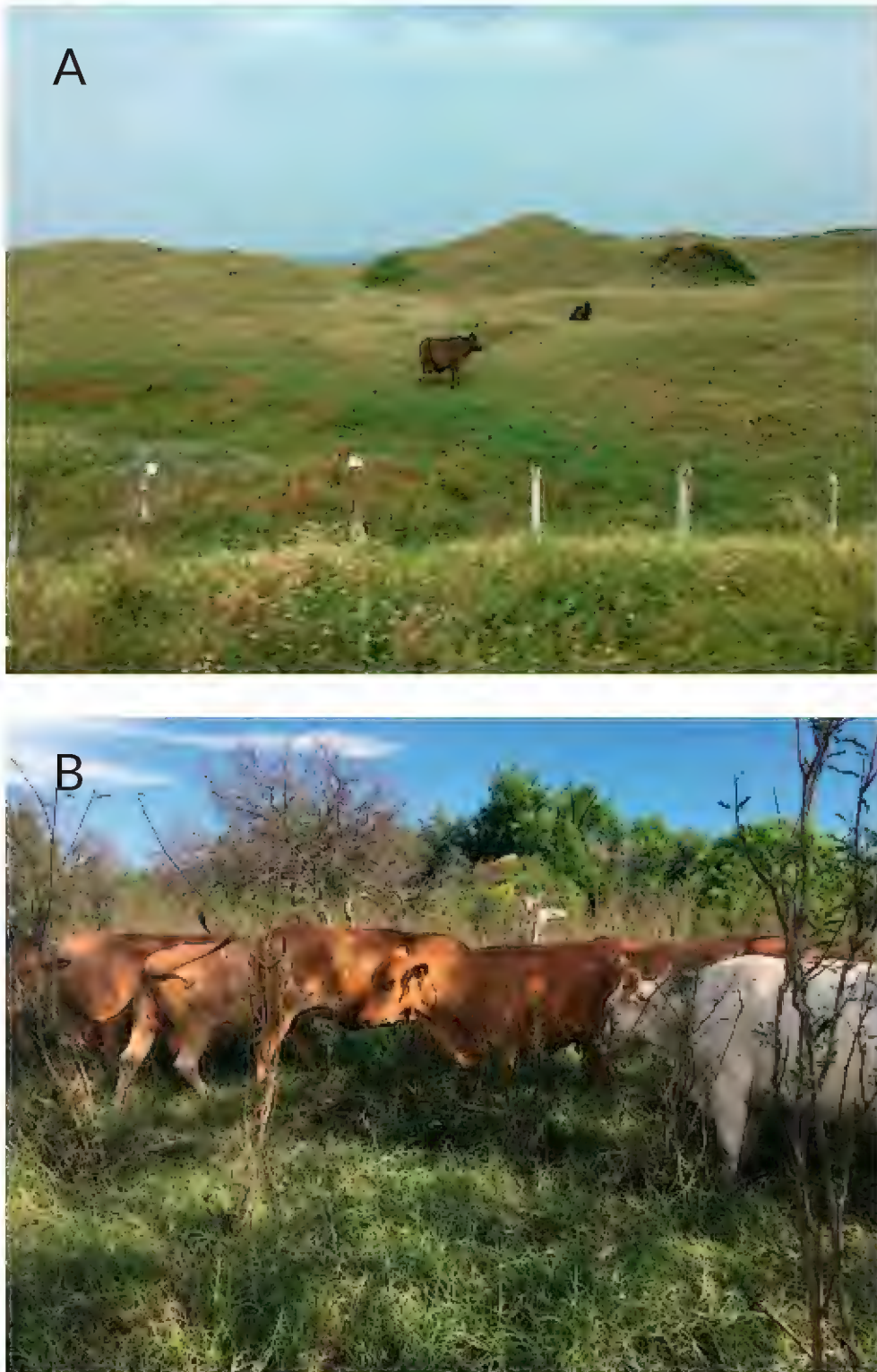


Figura 1. A) Ganadería convencional extensiva, basada sólo en pastos y con baja densidad de vacas. B) Sistema silvopastoril intensivo (Apatzingán, Michoacán), basado en pastos, arbustos y árboles forrajeros. Fotografías: R. Santos-Gally.

geras (que sirven como alimento para el ganado) e inclusive algunos árboles nativos con valor ecológico (Figura 2A). Los árboles y arbustos forrajeros, por su alto contenido de proteína, son una fuente de alimento de excelente calidad para el ganado y proveen sombra y alimento en la época de secas.

En estos sistemas alternativos, la división de potreros y la rotación intensiva del ganado permiten la recuperación temporal de las plantas forrajeras sometidas a pastoreo. Esto mejora la calidad de la dieta del ganado, reduce las distancias que tiene que recorrer para alimentarse y disminuye su deshidratación. La rotación de ganado consiste en dividir un potrero con cercas eléctricas (permanentes o móviles) para limitar el área donde las vacas pastan. Como resultado, las vacas comen una mayor cantidad de plantas, las disponibles en cada sección, en un tiempo menor. Los distintos componentes de este sistema promueven que las vacas, además de estar mejor alimentadas y menos deshidratadas, tengan menos parásitos y, en general, sean más saludables. En conjun-

to, estas estrategias se ven reflejadas en un aumento de hasta 12 veces en la producción de carne y de hasta un 80% adicional en la producción de leche. Por eso, estas prácticas permiten tener más vacas por hectárea de potrero, lo que reduce la cantidad de áreas necesarias para la actividad ganadera y libera espacio para la conservación. Adicionalmente, el cambio de dieta modifica los procesos digestivos de las vacas, lo que reduce la cantidad de metano y óxido nítrico que emiten a la atmósfera y disminuye su contribución al calentamiento global.

Desde una perspectiva ecológica, el desarrollo sostenible implica la preservación de la integridad de los procesos biológicos y físicos que sostienen la vida en un mundo cada vez más presionado por las actividades productivas que modifican y fragmentan los ecosistemas naturales. En este sentido, la ganadería sostenible es una práctica que permite mantener la integridad de los ecosistemas al incorporar pequeñas islas de vegetación con especies de árboles nativos (originarios de cada región) dentro de los sistemas silvopastoriles intensivos (Figura 2B). Esto hace posible regenerar, aunque de manera fragmentada, cierta proporción de la vegetación original y recuperar algunos de sus beneficios (los reconocidos servicios ecosistémicos).

Un ejemplo de estos beneficios es la descomposición de la materia orgánica que producen los árboles, ya que incrementa la cantidad de nutrientes en el suelo, que a su vez facilitan la recuperación de la comunidad de microorganismos y de la fertilidad del suelo. La presencia de árboles también disminuye la temperatura de los potreros, ayuda en la recuperación de manantiales y pequeños arroyos, y provee refugio para diversos animales, muchos de los cuales pueden contribuir a la regeneración de los ecosistemas aledaños. En particular, estas islas de vegetación pueden atraer a las aves que consumen una gran cantidad de garrapatas del ganado, y a los escarabajos que consumen y procesan el estiércol, lo cual mejora las condiciones de los potreros y la salud de las vacas.

Así, en vez de “competir” con la ganadería por una misma superficie, las islas de vegetación arbórea pueden incluso beneficiar la productividad ganadera, incrementando la fertilidad de los suelos y la disponibilidad de agua, y, en general, manteniendo los elementos ambientales necesarios para la rentabilidad y sostenibilidad de los ranchos a largo plazo. Además, según el contexto y los objetivos de cada productor, la selección de plantas que se incorporen a las islas de vegetación (Figura 2C): maderables, no maderables con beneficios para la apicultura, y/o frutales, se pueden convertir en parte del sistema productivo agroforestal y también generar ingresos económicos.

La incorporación de islas de vegetación arbórea dentro de las áreas productivas, además de aumentar la cobertura vegetal y promover distintos servicios ecosistémicos, funciona para crear “puentes” para la movilidad de los animales (aves, mamíferos, especialmente murciélagos, insectos y reptiles) entre zonas de selva que aún están bien conservadas. Finalmente, esta incorporación de islas de vegetación propiciaría un incremento en la captura de carbono de la atmósfera en el tejido de las plantas. Este fenómeno, que se ha descrito como fijación de carbono, ocurre gracias al pro-



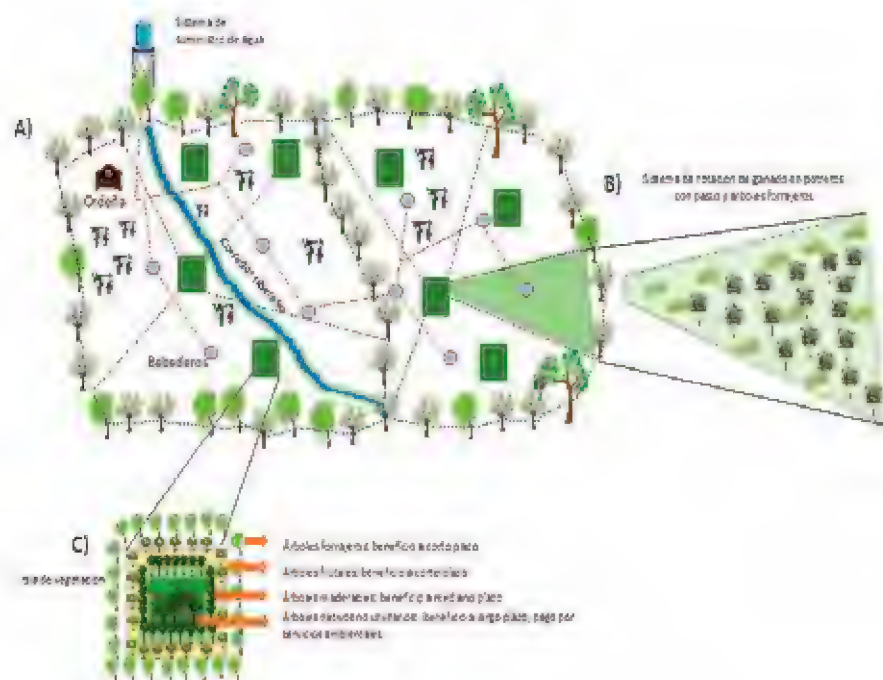


Figura 2. Sistema silvopastoril intensivo y de restauración para la ganadería sostenible en el trópico húmedo de México. A). Sistema de rotación con suministro de agua para cada división del potrero. B) Siembra en altas densidades de árboles y arbustos forrajeros con gran contenido de proteínas, para mejorar la dieta de las vacas y proveer fertilización al suelo. C) Para aumentar la recuperación de servicios ecosistémicos, se propone la implementación de islas de vegetación con árboles nativos, maderables, frutales y forrajeros que se pueden aprovechar y también ayudan a la recuperación del suelo y de fuentes de agua, y permiten la conectividad entre fragmentos de selva. Imagen: R. Santos-Gally.

ceso de fotosíntesis de las plantas, que absorben el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de la atmósfera y lo convierten en carbohidratos, las moléculas que forman parte de sus tejidos. Así, el sembrar árboles dentro de los sistemas ganaderos permitiría reducir la cantidad de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y sus efectos sobre el calentamiento global.

### Perspectivas de ganadería y sostenibilidad.

#### ¿Qué estamos haciendo?

Independientemente de que estas soluciones técnicas constituyan una vía para alcanzar el balance entre los sistemas productivos y la conservación de los ecosistemas, la transición de una ganadería extensiva convencional a una ganadería sostenible es un proceso complejo que requiere de la intervención de diversos actores sociales, como los productores, los gobiernos locales, las organizaciones civiles y los académicos.

Al involucrar de manera continua a todos los actores sociales, a través de un proceso de construcción colectiva de conocimiento, es posible lograr consensos sobre las mejores estrategias para integrar el conocimiento, los valores y las preferencias de los distintos sectores de la sociedad. Este proceso de planeación colaborativa es esencial para desarrollar soluciones factibles y reales dentro del contexto de cada localidad. Para promover la ganadería sostenible también resulta indispensable generar conciencia social sobre el valor de consumir alimentos amigables con el ambiente (con el menor impacto ambiental posible), que generen sociedades de consumo justas, tanto a nivel ambiental como económico.

Actualmente, un equipo interdisciplinario de varias entidades de la UNAM, de la Universidad Estatal Autónoma de Morelos y del Tecnológico de San Andrés Tuxtla, junto con distintos actores del gobierno local, asociaciones civiles y productores gana-

deros, hemos iniciado un proceso colectivo para detonar prácticas de ganadería sostenible en la región de Los Tuxtlas, Veracruz. El propósito de esta iniciativa es demostrar que sí es posible lograr un balance entre la producción de alimentos y la conservación de los ecosistemas. Este balance debe redundar tanto en bienestar social como en la conservación de la biodiversidad local. Al lograr esta transición productiva, podríamos ayudar a reducir los efectos del calentamiento global que experimenta el planeta. ¡En otras palabras, confiamos en estar avanzando hacia la utopía de vivir en armonía con la naturaleza! 🌱

**Rocío Santos Gally.** Bióloga de la Facultad de Ciencias, UNAM, realizó una maestría en el Instituto de Ecología, UNAM (IE-UNAM) y un doctorado en la Universidad de Sevilla. Actualmente es Investigadora Catedrática CONACyT del IE-UNAM. Sus líneas de investigación son la ecología reproductiva de las plantas y la biogeografía histórica. Recientemente ha incursionado en el trabajo de restauración de las selvas tropicales, fomentando la adopción de sistemas silvopastoriles en la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

**Karina Boege.** Bióloga es egresada de la Facultad de Ciencias, UNAM. Realizó su doctorado en la Universidad de Missouri y un posdoctorado en Stanford, EUA. Desde el 2005 es Investigadora Titular en el IE-UNAM. Sus líneas de investigación son la ecología evolutiva de las interacciones bióticas y el estudio de las dinámicas complejas de selección natural en plantas y animales.

**Juan Fornoni.** Realizó la licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina), y el doctorado en el IE-UNAM, donde labora como investigador titular desde el 2003. Sus líneas de investigación están centradas en entender la evolución de las estrategias defensivas de las plantas y la evolución fenotípica en otras interacciones, como la polinización.

**César A. Domínguez.** Realizó sus estudios de licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, y de doctorado en el Centro de Ecología de la UNAM (hoy IE-UNAM), donde labora desde 1992. Su área de investigación es la biología evolutiva. Se ha especializado en el estudio de la evolución de la sexualidad de las plantas, en la ecología evolutiva de las interacciones bióticas y los conflictos de interés que las subyacen, entre otras.

### Para saber más

- López-Vigoa, O, T. Sánchez-Santana, J. M. Iglesias-Gómez, L. Lamela-López, M. Soca-Pérez, J. Arece-García, M. Milera-Rodríguez. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes* 40(2): 83-95.
- Montagnini, F., E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, B. Eibl. 2015 *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454 p.
- Murgueitio, E., J. Chará, R. Barahona, C. Cuartas, J. Naranjo. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (sspi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17(3): 501-507.

Emilio Rodríguez Izquierdo

La observación de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la Laguna Ojo de Liebre, en Baja California Sur, México, es una actividad ecoturística que se realiza cada año entre diciembre y abril. Si bien el gobierno mexicano regula esta actividad —en particular limita el número de embarcaciones para observación de ballenas—, se carece de la información técnica para justificar la restricción en el número de permisos de observación de ballenas. En Ojo de Liebre, esta actividad ecoturística se realiza en los meses de invierno, porque es entonces cuando las ballenas se encuentran en aguas mexicanas para reproducirse y dar a luz a sus ballenatos. Con la llegada de la primavera, las ballenas inician su regreso a sus hábitats de alimentación, a 8,000 km de distancia, en los mares alrededor de Alaska. Así, la conservación de la ballena gris, que es una especie migratoria amenazada, se combina con actividades económicas relacionadas al ecoturismo.

México es el tercer destino más importante del mundo para actividades de observación de ballenas. Ello ha originado el aumento, desde 2009, del número de permisos para la observación de ballenas en el país. Además, del total de turistas que realizan esta actividad en nuestro país, la mayoría lo hace en Baja California Sur y, principalmente, en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, donde se encuentra la Laguna Ojo de Liebre (Figura 1). Hasta la fecha no se ha podido fundamentar un límite (capacidad

de carga) para la cantidad de embarcaciones que pueden dar servicio para la observación de ballenas. Este límite, o capacidad de carga, serviría para establecer el número máximo de permisos para la actividad de observación de ballenas.

#### Un enfoque para hacer frente a la incertidumbre

En las Ciencias de la Sostenibilidad se abordan problemas perversos, es decir, problemas de tal complejidad que no hay ni siquiera un consenso que distinga el problema claramente y, por lo tanto, no tienen una solución definitiva. En este caso es limitado el conocimiento científico sobre los efectos negativos de la observación de ballena gris en su población y, tampoco es posible decir con mayor certeza, cuál es el modelo más adecuado para que las autoridades puedan tomar decisiones mejor informadas. No obstante, la regulación de dicha actividad requiere una justificación científicamente sólida. En particular, se necesitan enfoques que respondan a las demandas de desarrollar políticas públicas en contextos con posiciones, visiones y valores diferentes, escasa información y conocimiento limitado, es decir, en condiciones de alta incertidumbre y complejidad.

En mi proyecto de investigación busco desarrollar un enfoque metodológico para generar información científicamente sólida que permita dar respuesta al desafío de regular las actividades humanas y proteger a las especies amenazadas. En particular, desarrollaré un modelo que contribuya a establecer la capacidad de carga legal de embarcaciones es decir, la cantidad máxima de embarcaciones que pueden dar servicio para la observación de ballenas en condiciones de alta incertidumbre. Es decir, en un contexto en el que hay desacuerdo entre los expertos sobre si la observación de ballenas tiene efectos negativos, o si estos efectos son insignificantes o realmente importantes. Para ello, en mi investigación, considero que la capacidad de carga está asociada a un umbral ecológico crítico. La idea es que, si no se cuenta con la información adecuada para limitar la cantidad de embarcaciones de observación de ballenas, ese umbral podría sobrepasarse, lo que tendría consecuencias ambientales y económicas muy negativas, por eso se dice que es un umbral crítico. Con todo ello, al final de mi investigación estaré en posibilidad de demostrar cómo pueden aplicarse métodos y conceptos de la teoría de sistemas complejos y la modelación de sistemas dinámicos en la gestión de la conservación de especies amenazadas.



Figura 1. Mapa del área de estudio.

### Modelación de sistemas socio-ecológicos para la toma de decisiones

En los sistemas socio-ecológicos siempre va a haber cierta incertidumbre que en la elaboración de un modelo no se puede eliminar y, por tanto, las predicciones de los resultados nunca van a ser exactas. Esta incertidumbre se debe a múltiples factores como por ejemplo, la falta de conocimiento, la variabilidad natural, o la incertidumbre en los datos, parámetros y estructura de los modelos. Sin embargo, los modelos utilizados como herramientas para realizar experimentos computacionales pueden ser útiles para la formulación de políticas públicas. Estos modelos se utilizan para formular preguntas concretas sobre el sistema socio-ecológico y probar conjeturas formales acerca de los efectos de las actividades humanas y, con ello, ayudar a crear escenarios de posibles cursos de acción. Así, estos modelos son herramientas prácticas para abordar contextos inciertos y complejos en los que, fruto de los valores e intereses de las distintas partes interesadas, surgen múltiples futuros plausibles y diferentes visiones que pueden ser útiles para que las autoridades consideren posibles líneas de acción y políticas públicas.

La Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre es un sistema socio-ecológico porque en ella se entrelazan la actividad ecoturística de la observación de ballenas con un entorno natural protegido que forma parte, además, de la Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno. El modelo que he desarrollado en mi investigación es un modelo de simulación dinámica que representa el impacto de las embarcaciones de observación de ballenas en uno de los hábitat de reproducción y crianza más importantes para la ballena gris. De manera que, al número de individuos de ballena gris en Ojo de Liebre les afecta lo que se denomina efecto subletal. En este modelo el efecto subletal está representado en términos de área. Así, el efecto subletal de las embarcaciones representa una disminución del hábitat disponible para la ballena gris, es decir, el área apta para que las ballenas puedan realizar normalmente sus actividades se va reduciendo. En consecuencia, el impacto de las embarcaciones se representa como la pérdida del hábitat disponible en la laguna para la ballena gris (Figura 2).

El modelo que simula la interacción embarcaciones-ballena gris, además, lo combino con una evaluación del riesgo ecológico para determinar la probabilidad de que, debido a las actividades ecoturísticas, se reduzca severamente la abundancia de

Un umbral ecológico crítico es un límite (abstracto) que sirve para distinguir dos condiciones ambientales bien diferenciadas. Esto es, el umbral ecológico es un valor de una condición ambiental —en este caso, un nivel de abundancia de ballenas en Ojo de Liebre— a partir del cual la condición ambiental cambiaría drásticamente (pasaríamos de una población de ballenas “saludable” a una población de ballenas en constante disminución, es decir, que la ballena gris dejaría de regresar a Ojo de Liebre).

### Modelación de sistemas y teoría de sistemas complejos

La teoría de sistemas complejos enfatiza las interacciones entre los componentes de un sistema complejo —sistemas que tienen propiedades particulares que surgen de esas interacciones (como no-linealidad, emergencia, retroalimentaciones, etcétera) para caracterizar el comportamiento del sistema. La modelación de sistemas dinámicos consiste en el uso de métodos matemáticos para entender, de forma global, los cambios de un determinado sistema en el tiempo. La estructura matemática básica de un modelo de sistemas dinámico formal consiste en un conjunto de ecuaciones diferenciales, estas ecuaciones se resuelven mediante programas computacionales que usan ecuaciones de diferencias finitas.

Un modelo de simulación dinámica es un modelo matemático en el que un sistema simulado cambia en el tiempo (por eso es dinámico), y que sirve para analizar problemas complejos.

ballenas en Ojo de Liebre. Para ello, primero hago que el modelo combine al azar los valores de los distintos parámetros del modelo que sea estocástico mediante simulaciones por computadora de tipo Monte Carlo. De esta manera, las simulaciones no consideran un único valor para cada parámetro puesto que no existe ese nivel de conocimiento y, además, muchos de los parámetros no son constantes. Por ejemplo, sabemos que la abundancia de ballenas en Ojo de Liebre varía de una temporada a otra. De hecho, gracias al programa de monitoreo de la ballena gris que realiza la

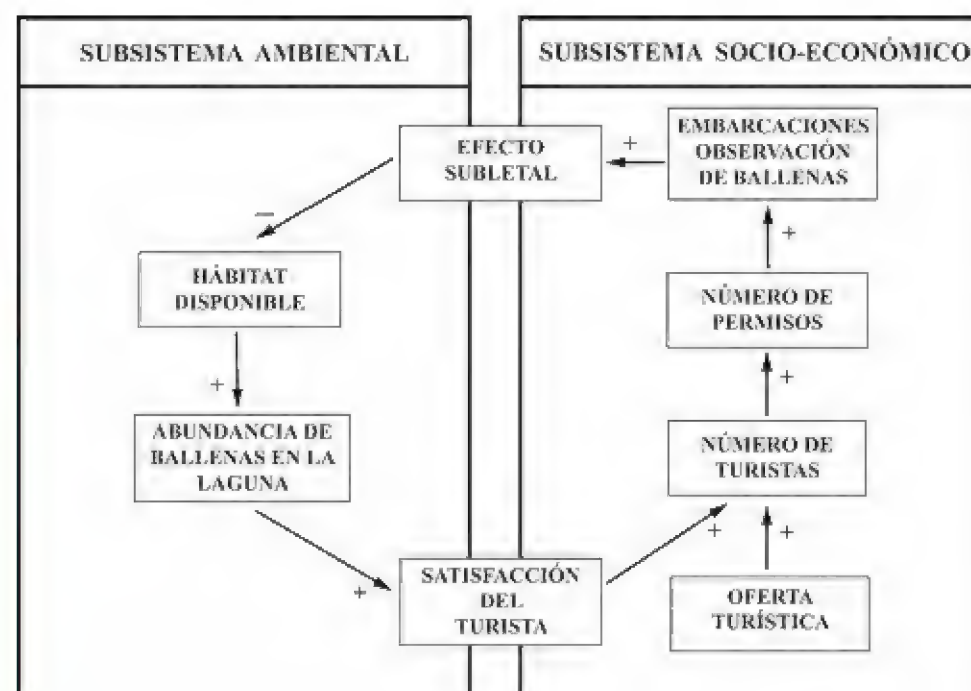


Figura 2. Diagrama conceptual del modelo de simulación dinámica. (+) indica una relación directa entre las variables, y (-) una relación negativa. Imagen: E. Rodríguez Izquierdo.



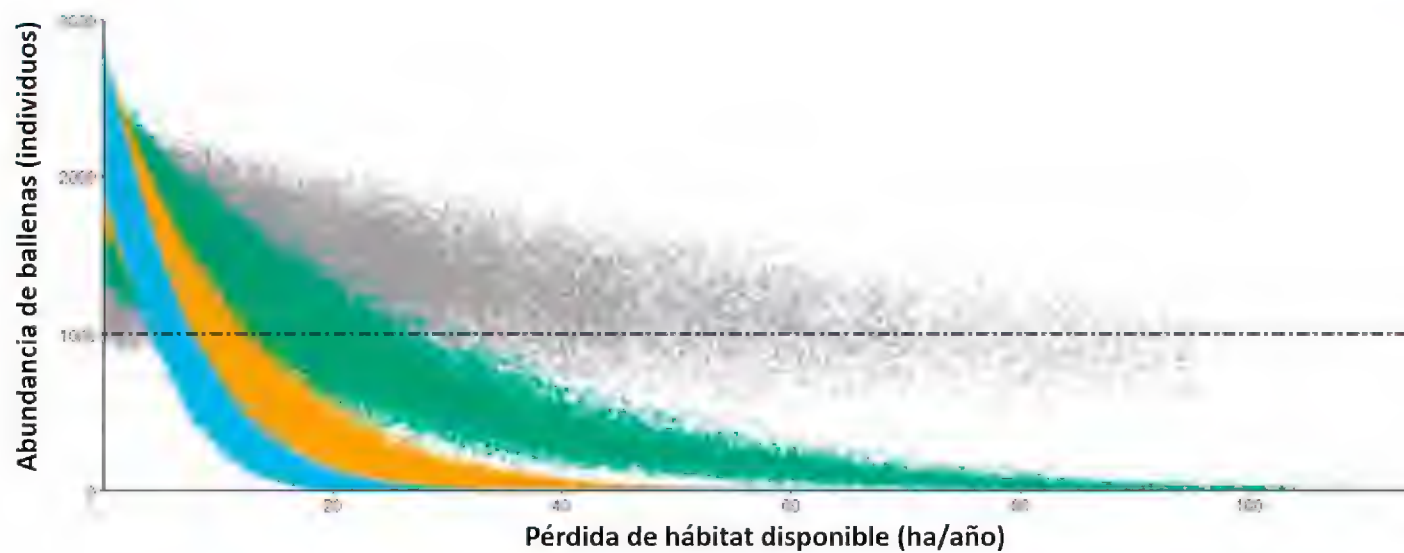


Figura 3. Cambio en la abundancia de ballenas en relación con la tasa de pérdida de hábitat disponible cada 25 años. Los puntos corresponden a los resultados en diferentes tiempos de simulación: los puntos grises corresponden a un tiempo de simulación de 25 años; los puntos verdes a 50 años; los puntos amarillos a 75 años; y los puntos azules a 100 años. La línea negra discontinua indica una disminución del 20% en la abundancia (promedio) inicial de ballena gris en Ojo de Liebre. Imagen: E. Rodríguez Izquierdo.

CONANP en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno tenemos datos oficiales para 14 temporadas. Así, sabemos que la abundancia varía de un año a otro (el mínimo registrado en los conteos fue de 573 individuos en 2010, y el máximo fue de 2,107 individuos en 2004).

En la evaluación del riesgo ecológico, considero el riesgo de forma pragmática es decir, enfocado en el problema, contextualmente relevante y centrado en las consecuencias de las acciones y decisiones. Así, a partir de los datos obtenidos durante los conteos anuales de ballenas calculo que 1,240 individuos es el valor promedio de abundancia de ballenas en Ojo de Liebre. Con este valor, propongo que para las autoridades no debería de ser aceptable que disminuya el número de ballenas a 1,000 ballenas pues supone disminuir la abundancia promedio en un 20%. Es decir, se perdería un quinto de la cantidad (promedio) de ballenas por efectos de la actividad ecoturística (es decir, se disminuiría severamente la abundancia de ballenas en Ojo de Liebre).

### Resultados y conclusión

En general, los resultados de las simulaciones del modelo sugieren que la abundancia de ballenas tiende a disminuir cuando se incrementa el número de embarcaciones de observación de ballenas. La pérdida de hábitat para la ballena gris en el modelo se representa a través de la tasa de pérdida de hábitat disponible (Figura 3). Esta tasa de pérdida de hábitat disponible se calcula por el número de embarcaciones. El modelo sugiere que si dejamos que la observación de ballenas esté regulada por el mercado —es decir, que no se aplique ninguna restricción en el número de permisos

otorgados en 25 años se llegaría a un nivel de riesgo inaceptable (o sea que al realizar las simulaciones con el modelo, cinco de cada cien veces, el resultado fue de 1,000 ballenas o menos). Este nivel de riesgo corresponde a un promedio de 60 embarcaciones de observación de ballenas.

En la literatura especializada existen métodos ya desarrollados y establecidos que permiten determinar, con los resultados de las simulaciones de mi modelo, que el umbral ecológico crítico estaría entre los años de simulación 25 y 50. Es decir, que si dejamos que la observación de ballenas esté regulada por el mercado, el incremento en el número de permisos haría que en 25 años se tuvieran 60 embarcaciones y con ello, se estaría a punto de cruzar el umbral ecológico crítico. Es más, de acuerdo con el modelo, si se permite que sólo el mercado regule el número de permisos, se cruzaría el umbral ecológico, y se llegaría a un máximo de 72 embarcaciones (Figura 4). Ello comportaría que en 50 años podría aumentar en seis veces el nivel de riesgo de disminuir severamente el número de ballenas en Ojo de Liebre. En mis simulaciones llegué a obtener resultados en los que la abundancia era nula (Figura 3),

Un efecto subletal son los cambios fisiológicos o de comportamiento que debilitan el estado físico de los individuos y pueden llegar a tener efectos negativos en toda la población. Son efectos acumulativos, a largo plazo, que no tienen una consecuencia inmediata y pueden pasar inadvertidos por mucho tiempo.

### Premisas del modelo que simula la interacción entre embarcaciones de observación y la ballena gris en Ojo de Liebre

1. La Laguna Ojo de Liebre es un hábitat de reproducción y crianza de la población del Pacífico nororiental de ballena gris.
2. El número de individuos (abundancia) de ballena gris depende del hábitat disponible.
3. La observación de ballenas se lleva a cabo en embarcaciones.
4. El impacto de las embarcaciones es un efecto acumulativo.
5. Las actividades de observación de ballenas se regulan a través de permisos.

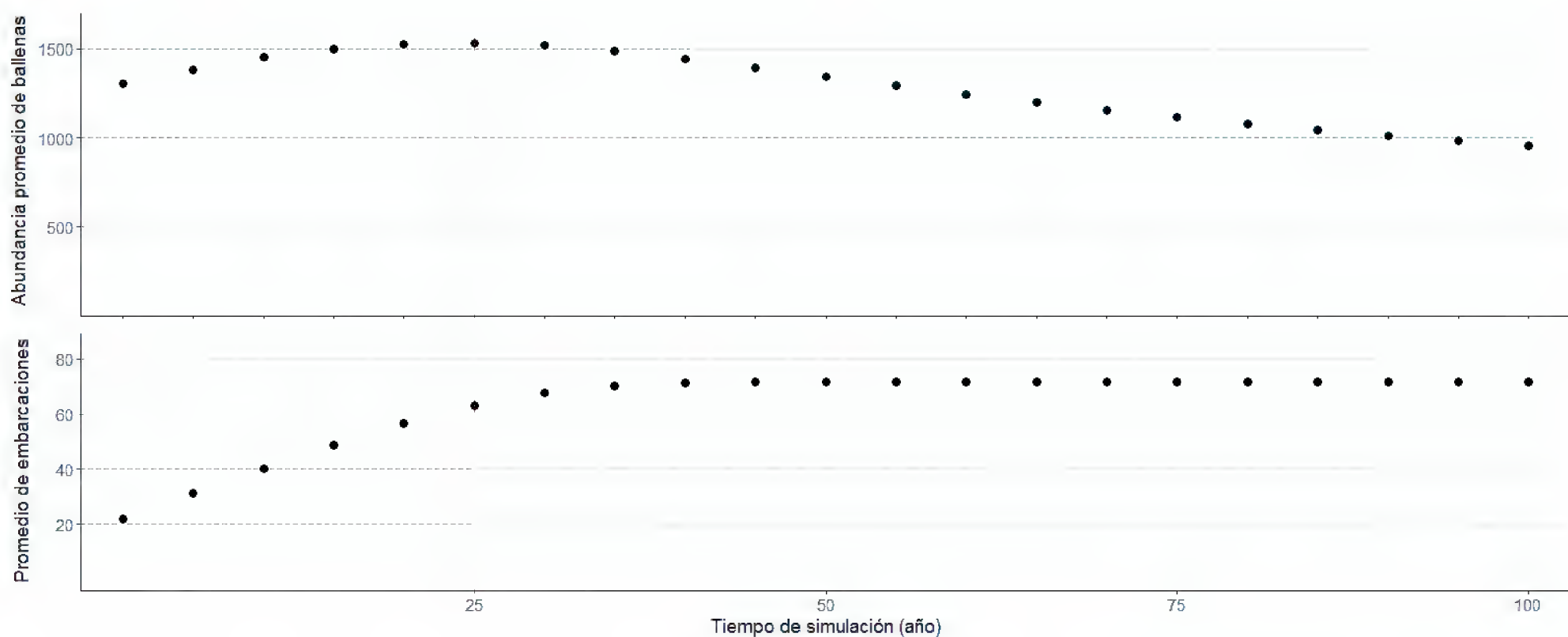


Figura 4. Promedio de la abundancia de ballenas y promedio de embarcaciones. Las líneas rojas verticales discontinuas indican el umbral ecológico crítico.

Imagen: E. Rodríguez Izquierdo.

es decir, que la ballena gris no regresaría a Ojo de Liebre para reproducirse y criar a sus ballenatos. De lo anterior se derivan dos conclusiones importantes: 1. La actividad turística de observación de ballenas no debe estar regulada por el mercado; y 2. Se debe buscar que el límite la capacidad de carga de la cantidad de embarcaciones de observación de ballenas se aleje lo más posible del umbral ecológico crítico. Para el caso de Ojo de Liebre, ello significa que la capacidad de carga legal debe ser aquella que no ponga en riesgo de disminuir severamente el número de ballenas en la laguna y, por tanto, necesariamente menor a 60 embarcaciones.

Diversos estudios reconocen que la toma de decisiones es una actividad que se lleva a cabo en contextos de gran complejidad y alta incertidumbre, y la regulación de la observación de ballenas no es una excepción. Precisamente, la regulación de esta actividad se da en un contexto de conocimiento limitado de los impactos negativos de la misma. Así, el caso de estudio de la observación de ballena gris en Ojo de Liebre es un ejemplo de cómo generar información científica sólida para la toma de decisiones, a pesar de las condiciones de alta incertidumbre.

Los enfoques sobre umbrales de sistemas están dirigidos a prevenir que, debido principalmente a las actividades humanas, se crucen los umbrales críticos, ya que cruzar estos umbrales tiene consecuencias que es necesario considerar y que pueden ser negativas para el ambiente y los humanos. Por ello, con mi investigación pretendo mostrar cómo enfrentar el desafío de generar información científica sólida para el manejo adaptativo basado en la ciencia bajo niveles de alta incertidumbre. Mi proyecto sienta las bases para prevenir que se afecte severamente la cantidad de ballenas grises que visitan y crían en la Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre, sin comprometer el futuro de la actividad ecoturística de observación de ballenas en esa bella y valiosa región de México. 🌍

**Emilio Rodríguez Izquierdo.** Estudió la Licenciatura en Ciencias del Mar en la Universidad de Cádiz, España, y tiene una Maestría en Estudios Ambientales de la Victoria University of Wellington, Nueva Zelanda. Es candidato a doctor en el Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM. Su línea de investigación son los límites, trayectorias y transición a la sostenibilidad y, en particular, la modelación de sistemas socio-ecológicos para fundamentar decisiones que potencien trayectorias sostenibles.

#### Para saber más

- Blanco, J.A. (Ed.), 2013. *Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales*. OmniaScience, Pamplona. <https://doi.org/10.3926/oms.60>
- Bojórquez-Tapia, L.A., Pedroza, D., Ponce-Díaz, G., Díaz de León, A.J., Lluch-Belda, D., 2016. A continual engagement framework to tackle wicked problems: curtailing loggerhead sea turtle fishing bycatch in Gulf of Ulloa, Mexico. *Sustain. Sci.* 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11625-016-0405-1>
- Ficha del Complejo Lagunar Ojo de Liebre. <http://bit.ly/ComplejoOjodeLiebre>
- García, R., 2006. *Sistemas complejos: conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa, Barcelona.
- Maier, H.R., Guillaume, J.H.A., van Delden, H., Riddell, G.A., Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., 2016. An uncertain future, deep uncertainty, scenarios, robustness and adaptation: How do they fit together? *Environ. Model. Softw.* 81, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.014>
- Scheffer, M., Carpenter, S.R., Foley, J.A., Folke, C., Walker, B., 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413, 591–596. <https://doi.org/10.1038/35098000>

## Intervenciones humanas: desde la domesticación hasta la ingeniería genética y su impacto en la agro-biodiversidad

**Alejandra Hernández-Terán y Ana E. Escalante**

### La domesticación en los tiempos de la prehistoria

Uno de los cambios más importantes en las poblaciones humanas sucedió cuando éstas pasaron de ser nómadas a ser poblaciones sedentarias. Este proceso que cambió el curso de la humanidad coincidió con el inicio de la agricultura, cuando nuestros ancestros comenzaron a cultivar y seleccionar características de interés en las plantas silvestres con las que convivían. Esta selección de características, cuyo fin era el de asegurar su sobrevivencia y/o aumentar la productividad, es un proceso evolutivo hecho por y para el hombre que se conoce como domesticación. La constante selección sobre las especies durante este proceso dio lugar a los cultivos que conocemos actualmente, muchos de los cuales tienen muy poco en común con sus parientes silvestres (a partir de los

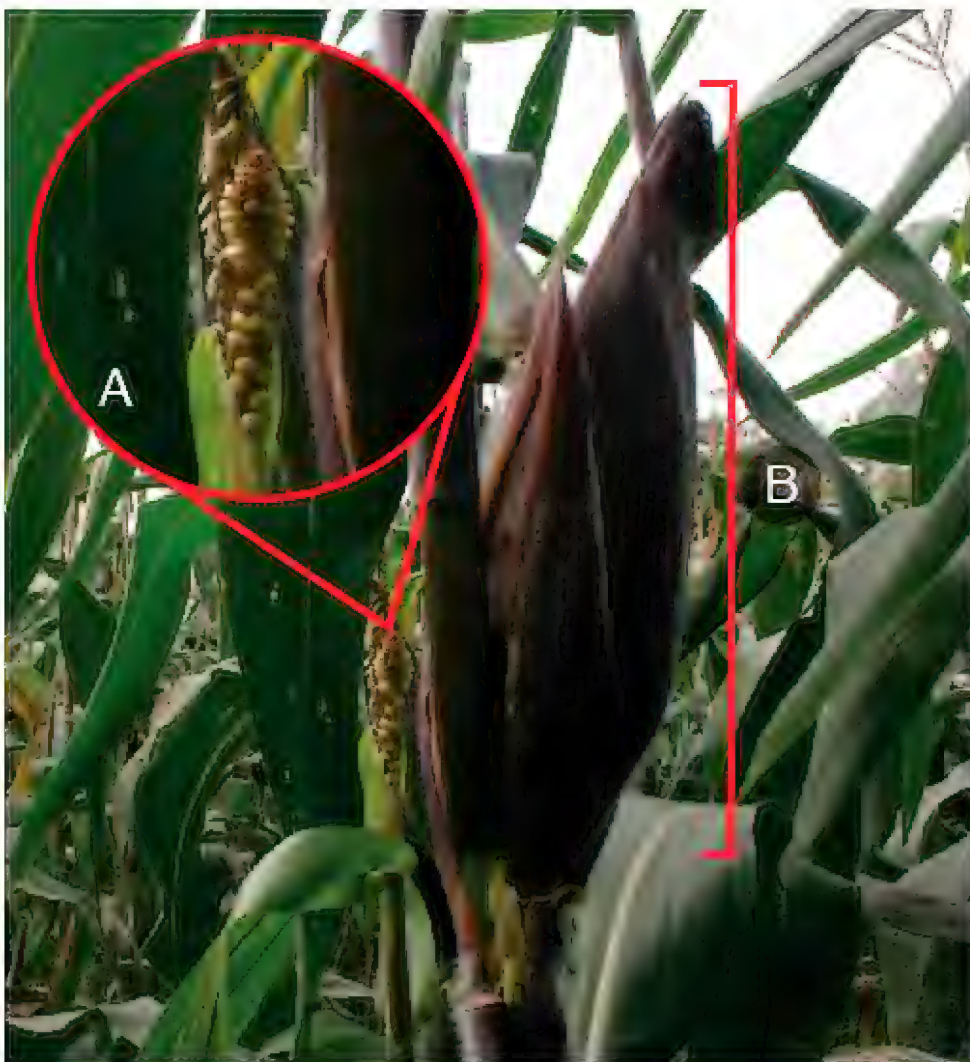
cuales se mejoraron. Ver: *Relatos breves sobre evolución y regulación genética* en *Oikos=* 9). Con el paso del tiempo, la domesticación fue volviéndose cada vez más certera y sofisticada gracias, en parte, a un mayor conocimiento de la biología de las especies, pero también a la introducción de otras tecnologías. Uno de los ejemplos más modernos es la ingeniería genética.

### La domesticación en el siglo XX

Actualmente, las nuevas tecnologías permiten la obtención de cultivos con mayor productividad, que incluso presentan características que antes no existían en la especie. Estas tecnologías mediadas por la ingeniería genética se han utilizado para transformar una gran cantidad de cultivos que forman parte de la alimentación básica mundial, tales como el maíz, el arroz, la calabaza, la papaya, la soya, el trigo y algunos otros muy importantes en la industria, como el algodón. Las plantas producto de estas tecnologías son mundialmente conocidas como Organismos Genéticamente Modificados (OGM) o transgénicos. Generalmente, la modificación genética se realiza sobre organismos que ya pasaron un proceso de selección artificial, de modo que un cultivo transgénico es también un cultivo domesticado. Sin embargo, los procesos que nos permiten llegar a cada uno de los tipos de modificación (domesticado y transgénico), son muy distintos. Por un lado, la domesticación tradicional utiliza como materia prima la variabilidad de las especies, es decir, la diversidad de formas y tamaños que ya se encuentran en la naturaleza, y las características buscadas se obtienen al cruzar distintos organismos. En la transgénesis, en cambio, se inserta ADN de otras especies que se sabe que puede conferir características agronómicas importantes a los organismos.

### Consecuencias de la modificación

Como ya mencionamos antes, estos procesos de modificación se centran en sobre-expresar o introducir en el genoma características específicas de interés. Por ejemplo, en el caso del maíz lo que interesó a los primeros agricultores fue aumentar el número de mazorcas por planta y el número de granos en cada mazorca (ver: *De la milpa a la mesa: maíz, esquites y más* en *Oikos=* 17). Sin embargo, en el camino para lograr la manifestación de estas características, otras más fueron alteradas, pues el desarrollo de los organismos vivos es un proceso complejo en el que todo está conectado. Como consecuencia, muchas veces observamos cam-



Comparación del cultivo de maíz moderno (A) con su pariente silvestre: el teosinte (B). En la imagen se puede observar cómo el proceso de domesticación ha ocasionado cambios fenotípicos extremos, en la apariencia, de los cultivos, además del tamaño de la mazorca y el número de granos, la altura de la planta cambió al igual que la forma de las hojas y el número de ramas.

Fotografía: Carmen Loyola.

El término fenotipo se refiere a las características físicas observables de un organismo, que incluyen caracteres morfológicos y fisiológicos de desarrollo y comportamiento. Al fenotipo de un organismo lo determina su genotipo, que son las instrucciones genómicas heredadas de los progenitores, y su interacción con el ambiente (que incluye múltiples factores ecológicos físicos y bióticos). Ejemplos de fenotipos son: la masa corporal, la coloración, tasa fotosintética, el tamaño de nidada o camada en animales, el display sexual, o la velocidad de repuesta ante estímulos ambientales (plasticidad), etcétera.

Modificado de Scitable por Nature Education:  
*phenotype / phenotypes.*

bios en otras características de las plantas modificadas que no son los que se buscaban. A estos cambios se les conoce en biología como efectos no intencionados de la modificación, y los podemos observar en el fenotipo de la gran mayoría de los cultivos actuales. Estos efectos no intencionados ocurren a través de complejos procesos a nivel genético dentro de los organismos, que son ocasionados tanto por las múltiples cruzas como por la introducción de nuevo material genético. Debido a que estos efectos se han observado en la mayoría de los cultivos que son la base de la alimentación mundial, sus consecuencias en la ecología y evolución de las especies son de especial importancia para las poblaciones humanas. Por otra parte, la agro-biodiversidad que constituyen las poblaciones silvestres y domesticadas es de suma importancia, ya que es la herramienta que le permite a los organismos adaptarse a condiciones ambientales cambiantes como las que se prevén en los escenarios de cambio climático.

### ¿Qué hicimos?

Los efectos no intencionados de la modificación son un fenómeno ampliamente reportado en la literatura científica; por esto nos propusimos a compilar toda esa información para poder realizar un análisis integral de estos fenómenos en plantas que tienen gran importancia alimenticia y social. Recopilamos cientos de estudios que analizan características fenotípicas que pueden resultar afectadas en los procesos de modificación por ingeniería genética. Escogimos un total de cinco cultivos representativos: arroz, maíz, canola, girasol y calabaza. Todos ellos tienen una gran relevancia para la alimentación e industria a escala mundial. Seleccionamos todas las investigaciones en las que se hicieron experimentos controlados, donde se comparan características fenotípicas que son importantes para la reproducción y supervivencia de plantas silvestres, domesticadas y transgénicas en un mismo cultivo.

### ¿Cómo lo hicimos?

Estudiamos los datos de un total de 120 investigaciones publicados en revistas científicas utilizando análisis estadísticos. Dentro de las características fenotípicas analizadas están la altura de la planta, el número de semillas, el número de frutos, los días a la floración y la viabilidad del polen. Realizamos análisis individuales por cada especie, comparando, por ejemplo, el número de semillas del maíz silvestre (teosinte) con el número de semillas del maíz domesticado y transgénico. Además, llevamos a cabo análisis estadísticos que permiten integrar toda la información disponible de un mismo cultivo, para así poder observar, por ejemplo, si podríamos distinguir a las plantas silvestres de las domesticadas y las transgénicas.

### ¿Qué esperábamos encontrar?

Buscábamos conocer si los distintos tipos de modificación humana (domesticación y transgénesis) pueden alterar el fenotipo de las plantas de tal manera que fuera posible diferenciar organismos silvestres, domesticados y transgénicos en una misma especie. Adicionalmente, dado que la transgénesis está diseñada para impactar únicamente una característica, sería de esperarse que hubiera menos diferencias fenotípicas entre plantas domesticadas y transgénicas que al comparar silvestres y domesticadas.

### ¿Qué encontramos?

Luego de analizar toda la información recopilada, encontramos diferencias estadísticas en casi todas las comparaciones de características fenotípicas entre los distintos tipos de plantas (silvestres, domesticadas y transgénicas) dentro de un mismo cultivo. Al analizar de manera integral todas las características dentro del mismo cultivo, encontramos que cada tipo de organismo se puede distinguir claramente, ya que se parecen más entre sí, que con otro tipo de organismos. Por ejemplo, un maíz silvestre comparte más características con otro maíz silvestre, que con un maíz domesticado.

### El caso del maíz

El caso del maíz es un buen ejemplo para ilustrar nuestras observaciones ya que presenta casi todos los efectos que encontramos

“La agro-biodiversidad o diversidad agrícola engloba por un lado a las especies de plantas y animales, cultivadas y domesticadas para la alimentación y otros usos, así como sus parientes silvestres. Por el otro lado, incluye a los componentes que sostienen a los sistemas de producción agrícola o agroecosistemas (microorganismos del suelo, depredadores, polinizadores, etc.). En ambos casos la agrobiodiversidad incluye la diversidad a nivel ecosistema, especie y genes.” (Santilli, 2017 citado por CONABIO).

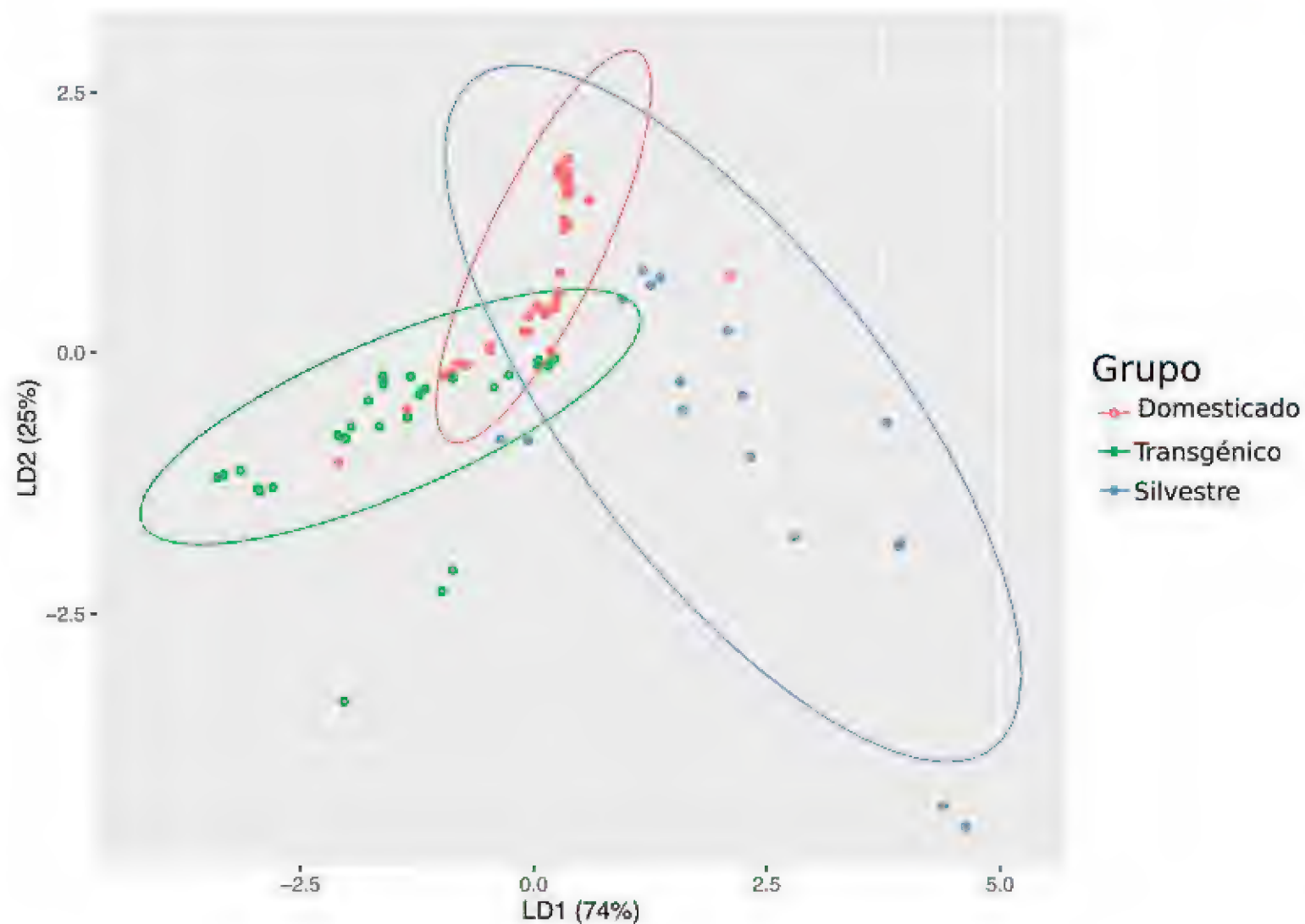


Figura 2. Análisis estadístico integral de las características fenotípicas, apariencia, en el cultivo de Maíz. Cada eje de la gráfica se compone por una combinación de las características fenotípicas que ocasionan la posición (ordenamiento) espacial de los distintos grupos de maíz. Los números en los ejes representan el porcentaje que las combinaciones de características explican en la variación encontrada. Los tres grupos están representados por colores: los puntos rojos son las plantas domesticadas, los puntos verdes las plantas transgénicas y los azules las plantas silvestres. Un óvalo más grande representa una mayor variación fenotípica encontrada en las características analizadas. Cuando los óvalos se superponen, puede significar que comparten similitudes en sus características fenotípicas.

en los cinco cultivos. En la imagen observamos el gráfico correspondiente al análisis integral de los datos del maíz, en el cual se distinguen claramente los tres tipos analizados. Los organismos se agrupan, por su parecido fenotípico, en silvestre, domesticado o transgénico. Observamos también que el óvalo correspondiente a los maíces silvestres es más grande que el de los domesticados, lo que corresponde a una mayor diversidad fenotípica. Esto se debe a que en los procesos de domesticación únicamente se seleccionan algunas características de interés agronómico, dejando de lado gran parte de la diversidad fenotípica, por lo cual los organismos domesticados tienen menor diversidad fenotípica que sus parientes silvestres.

Finalmente, observamos también que, contrario a lo que esperábamos, existe variación biológica entre los organismos domesticados y los transgénicos. Esto contradice nuestras expectativas, pues uno de los supuestos de los OGM es que, al trabajar con características específicas, únicamente éstas se ven afectadas y las demás permanecen sin variaciones. Esto implicaría que al comparar un organismo transgénico con su pariente domesticado más cercano, solamente encontraríamos diferencias en la característica específica que se modificó. Por ejemplo, en el caso del maíz transgénico resistente a plagas, si lo comparáramos con su pariente domesticado encontraríamos que, en un ambiente en presencia de

plagas que dañan el maíz, el pariente domesticado sufriría mayor daño que el modificado genéticamente, pues este último cuenta con una nueva característica que le permite defenderse mejor. Sin embargo, nuestros resultados muestran que esto no es una regla, ya que en muchos casos podemos encontrar diferencias, otras características que no son las de interés pero que fueron provocadas por el proceso de modificación, es decir, surgen efectos no intencionados de la modificación.

### Nuestra conclusión


Los resultados encontrados en nuestra investigación muestran cómo las intervenciones humanas han causado, en algunos casos a lo largo de miles de años, importantes cambios en las poblaciones de plantas que utilizamos. Aunque históricamente estas estrategias han satisfecho las necesidades de producción de alimento de nuestra especie, es importante reflexionar acerca de las consecuencias de su impacto en la agro-biodiversidad de las poblaciones de plantas. En muchos casos, podemos observar consecuencias de estas intervenciones humanas en diversas características que no son el objetivo principal de la modificación, es decir, efectos no deseados de la modificación. Sin embargo, las consecuencias ecológicas y evolutivas de estos efectos no deseados siguen sin conocerse. Esto se debe, principalmente, a que en los esfuerzos de regulación



y determinación de impacto ambiental de los OGM se analizan únicamente las características en las que se esperan los cambios ocasionados por la modificación, dejando de lado otras que podrían verse afectadas, tales como las presentadas en este estudio.

Con el fin de contribuir a entender mejor este impacto, en el futuro es necesario que los estudios que documenten cambios en cultivos mejorados por el hombre integren el mayor número de características posibles, de modo que permitan la adecuada detección de efectos no deseados. Esto con el fin de diseñar estrategias de mejoramiento de nuevos cultivos, o de conservación, que no comprometan las posibles decisiones de nuevas generaciones humanas en materia de agrobiodiversidad.

Este trabajo se puede obtener gratuitamente en la página de la revista científica *Frontiers in Plant Science*:

Hernández-Terán, A., A. Wegier, M. Benítez, R. Lira y A.E. Escalante. 2017. Domesticated, Genetically Engineered, and Wild Plant Relatives Exhibit Unintended Phenotypic Differences: A Comparative Meta-Analysis Profiling Rice, Canola, Maize, Sunflower, and Pumpkin. *Frontiers in Plant Science*. 8:2030. DOI: 10.3389/fpls.2017.02030 

**Alejandra Hernández Terán** es estudiante del Doctorado en Ciencias Biomédicas, bajo la supervisión de la Ana E. Escalante. Su tesis de doctorado se centra en el estudio de las consecuencias fenotípicas de las modificaciones genéticas en las plantas. Específicamente, estudia cómo las modificaciones genéticas pueden afectar la interacción de la planta con el microbioma de la raíz. Para esto, utiliza la planta de algodón como modelo, y emplea herramientas libres de cultivo para estudiar los cambios en la diversidad y composición del microbioma en plantas con distinto nivel de modificación genética: silvestres, domesticadas y transgénicas.

**Ana E. Escalante** es Investigadora del Instituto de Ecología, UNAM. Tiene un doctorado en ecología microbiana y evolución. Estudia diversidad y evolución de microorganismos en comunidades naturales y en consorcios microbianos en biorreactores. Desde el 2011 trabaja en el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, en donde ha ampliado su visión y proyectos de investigación hacia problemáticas de sostenibilidad, con énfasis en aspectos de impacto en política pública para el manejo sostenible de ecosistemas. Recibió el premio L'Oréal-UNESCO-AMC para mujeres en la ciencia en 2012.

#### Para saber más

- CONABIO. 2017. Agrobiodiversidad Mexicana.
- INECC. ¿Cómo afecta el cambio climático a la biodiversidad?

A lo largo de la historia, las Ciencias Sociales y las Ciencias Naturales han tenido momentos y puntos de encuentro. Ambas tienen formas distintas de definir sus objetos de investigación, conciben de manera diferente lo que significa generar conocimiento e igualmente difieren en su noción de lo que es una explicación válida. Estas miradas particulares en torno a la investigación se han mantenido independientes, pues hasta ahora no había habido realmente una necesidad de promover o forzar su interacción. Sin embargo, esto ha comenzado a cambiar recientemente, con el surgimiento de una nueva serie de campos emergentes, que nacen precisamente de la necesidad de crear enfoques inter y transdisciplinarios para dar cuenta de fenómenos y problemas para los cuales resulta insuficiente un acercamiento desde la perspectiva de una sola disciplina. Este es el caso de la Ciencia Social Computacional y las Ciencias de la Sostenibilidad. En el presente texto ahondaremos en la interacción que está teniendo lugar entre las Ciencias Sociales y las Ciencias Naturales en el ámbito de las Ciencias de la Sostenibilidad.

Este ejercicio lo haré a partir del concepto de poder, un concepto que las Ciencias Sociales, particularmente la Sociología y la Antropología, han adoptado como uno de sus principales ejes de análisis y el cual consideran que no puede “reducirse” a una visión (eco)sistémica. Dicho concepto lo ha introducido en el estudio de problemáticas socio-ambientales la corriente de pensamiento conocida como Ecología Política, misma que le reprimina a los distintos enfoques ahora conocidos como Ciencias de la Sostenibilidad el no incluir e incluso ignorar el tema del poder. Ahora bien, para quien aquí escribe, el punto central del análisis es entender la relación entre el universo social y su entorno biofísico, de tal modo que el objetivo principal es mostrar cómo el concepto de poder permite hilar de manera más fina la relación social-biofísica, cuando se piensa como una relación social en la cual están inmersos seres humanos, el entorno biofísico, además de objetos materiales y simbólicos. Lo anterior con la finalidad de generar un espacio de conocimiento que facilite la relación entre las Ciencias Sociales y las Ciencias Naturales. En este texto hago referencia al concepto de poder según el antropólogo Richard N. Adams, quien lo define en su libro *Energía y estructura*, una teoría del poder social como una relación social que nace del control ejercido sobre distintos recursos, entre ellos, los recursos naturales.

### El poder

Las Ciencias de la Sostenibilidad, como disciplina que no sólo busca entender cómo funcionan los sistemas socio-ecológicos, sino que también busca usar el conocimiento para intervenir estos sistemas, con el fin de conducirlos hacia estados más sostenibles, reconocen que el tema del poder es importante. Intuitivamente, esto significa reconocer que las relaciones humanas no son homogéneas, que hay intereses personales y de grupo, y que hay personas y grupos con mayor capacidad de actuar e incidir en su entorno natural y social. Entender esto es relevante porque los problemas de sostenibilidad se caracterizan —entre otras cosas— porque en ellos convergen actores sociales con motivaciones distintas. En la interacción entre unos actores y otros se hace evidente que no tienen las mismas capacidades de acción e influencia, y, por ello, en la toma de decisiones es muy probable que los intereses de un

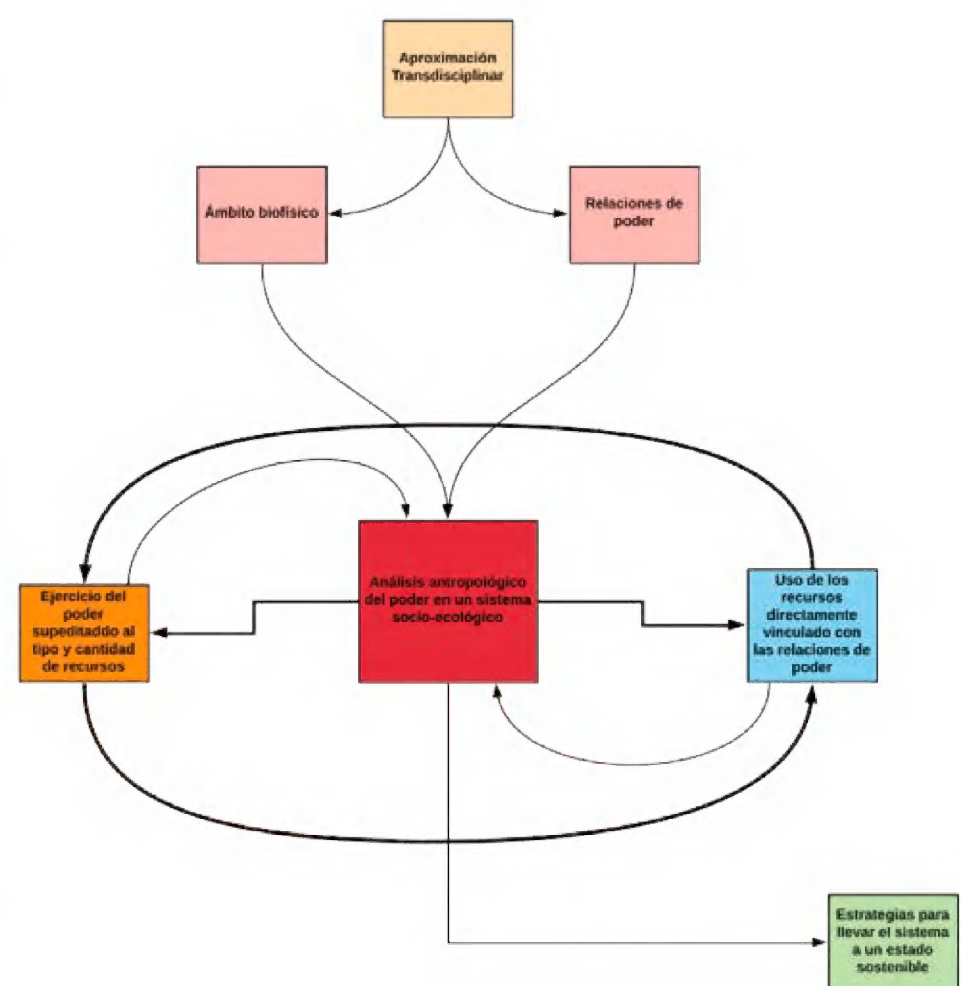


Diagrama que representa un análisis de los fenómenos socio-ecológicos de manera integral, incorporando el componente social correspondiente a la dinámica de los ecosistemas. Imagen elaboración propia.

actor terminen por imponerse sobre las preocupaciones e intereses de otros. En otras palabras, los problemas de sostenibilidad hacen emerger y hacen evidentes las diferencias de poder.

Desde finales de la década de 1960, las Ciencias Sociales (en particular la Antropología y la Sociología) han tomado el tema del poder como un objeto de investigación central, que se ha analizado por lo menos desde tres escalas, desde lo macro hasta lo micro. En la escala macro, el análisis del poder estudia la relación entre el Estado y los individuos que forman una sociedad. Aquí entran autores como Max Weber. Esta escala de análisis es relevante para las Ciencias de la Sostenibilidad porque el Estado, como organización social, tiene la capacidad de imponer las formas en las que una sociedad interactúa con su entorno ambiental o ecológico; por ejemplo, a través del aparato jurídico del Estado o de sus instituciones de producción de conocimiento, como las universidades. Actualmente, se reconoce que, aunque el Estado es quien impone, ejecuta y vela porque las reglas se cumplan, no está solo en el diseño de las estrategias de imposición. Al decir que el Estado no está solo, lo que queremos decir es que sus acciones están sesgadas por presiones económicas y financieras, así como por presiones geopolíticas globales, es decir, que surgen de la relación con otros estados.

En la segunda escala, la media o meso-escala, el análisis de poder estudia la interacción entre grupos; por ejemplo, entre grupos que convergen en un mismo territorio y que tienen diferentes intereses asociados con un mismo recurso, como por ejemplo el agua, la tierra para sembrar, las minas, etcétera.

Finalmente, en la tercera escala, que es a nivel micro, el análisis del poder estudia las relaciones entre individuos; por ejemplo, las relaciones de género, las relaciones entre patrón y empleado, etcétera. Estas relaciones son particularmente interesantes porque están claramente enmarcadas y constreñidas por la cultura propia de los actores. Un caso particular entre dos actores es la manera de observar cómo una cultura determinada dicta la forma en la que deben entablarse ciertas relaciones sociales, por ejemplo, en México se les enseña a los niños que deben hablar de usted a los mayores y el empleado no puede cuestionar las decisiones del jefe.

Por otro lado, el poder, además de que tiene lugar en distintas escalas, existe en una diversidad de formas. No hay duda de

que el análisis del poder de Thomas Hobbes en el siglo XVII (para quien el poder consiste en la capacidad de una persona para alcanzar ciertos fines a futuro a partir de sus medios actuales), influyó considerablemente en los análisis posteriores del tema.

De manera general, se ha definido al poder como la capacidad de un actor —persona o institución— para imponer su voluntad, influenciar o controlar la conducta de otros o promover cambios sociales particulares, y se entiende que el poder está en toda interacción social.

Centrando la atención en la Antropología, y puntualmente en la Antropología Política, los investigadores más destacados en esta rama de la disciplina, como Max Gluckman, Georges Balandier, Edmund Leach, Victor Turner, Meyer Fortes, Radcliffe Brown, Evans Pritchard, al dirigir sus energías hacia una antropología con un enfoque político, hicieron estudios minuciosos sobre el poder y lo conceptualizaron como una capacidad. En el ámbito antropológico, durante tres décadas parecía haber un consenso sobre la noción de poder y con ello se estudió el poder político, el poder económico, el poder simbólico, el poder divino, el poder militar, etcétera.

Sin duda, la Antropología ha avanzado sustancialmente en la discusión sobre el poder, particularmente bajo la influencia de la filosofía pos-moderna de los años 70 y 80 del siglo pasado y en campos de investigación como los estudios pos y neo-coloniales, los estudios de género o el eco-feminismo.

### Acoplamiento socio-ecológico

El objetivo de este escrito es sugerir de qué manera se puede entender el poder para que lo social y lo ambiental queden conectados causalmente. Es necesario cambiar la idea de que el poder es una capacidad de determinado actor, y pensarlo, más bien, como una cualidad específica de una relación social. Este cambio es una de las contribuciones de Richard N. Adams a la Antropología y al análisis del poder.

Para Adams, el poder se expresa en la asimetría que existe entre distintos actores, los cuales buscan ejercer control sobre un recurso cualquiera que es significativo para ellos; por ejemplo, el agua de un río por el que varios actores compiten.


Percepción tradicional del poder en Ciencias Sociales	Teoría del poder social propuesta por Richard N. Adams
Capacidad de un actor —persona o institución— para imponer su voluntad frente a la de otros actores.	La capacidad de un actor reside en el control que éste ejerza sobre los recursos (materiales o simbólicos, como por ejemplo el conocimiento).
Influenciar o controlar la conducta de otros.	El poder se basa en el control de los elementos del ambiente que interesa a otros actores.
El poder está en toda interacción social.	El ejercicio del poder es una relación social en sí misma.

Las asimetrías se acentúan conforme las diferencias en el control de recursos de un actor respecto a otro aumentan. Más aún, un actor, al reconocer su posición de desventaja en la relación, puede optar por aliarse y situarse bajo el resguardo del actor con mayor control, o acceder en una proporción al recurso de interés. Un ejemplo claro de este comportamiento, es el de los partidos políticos pequeños, que hacen alianza con partidos mayores con el fin de no perder su registro y poder mantener sus recursos económicos, a pesar de no compartir ninguna posición ideológica ni política con el partido bajo el cual se resguardan.

Las ideas de Adams adquieren especial relevancia para las Ciencias de la Sostenibilidad, debido a que, para este antropólogo, la dinámica social de control sobre los recursos de los ecosistemas, además de ser el motor del cambio social, incide directamente en la reproducción del ecosistema en el cual se insertan dichas relaciones sociales. Desde mi perspectiva, esta forma de abordar el poder es particularmente útil para las Ciencias de la Sostenibilidad, pues el incluir las relaciones de poder como un elemento más del devenir de un sistema socio-ecológico genera una mejor comprensión de su dinámica interna, y permite construir estrategias para llevarlo a un estado más sostenible.

Probablemente, parte de las dificultades para articular una visión integrada de un sistema socio-ecológico tenga su origen en la lucha de las Ciencias Sociales por defender su autonomía respecto a otras ciencias. La defensa de la autonomía disciplinar no es exclusiva de las Ciencias Sociales; en su momento ha sido particularmente importante la defensa que ha hecho la Biología respecto a la Física. En el caso específico de las Ciencias Sociales, éstas han defendido la reducción de lo social a lo biológico, pues por lo general asumen que el poder como fenómeno es exclusivo de los sistemas sociales y lo pueden estudiar solamente las disciplinas sociales, tales como la Antropología, la Sociología y la Economía —por mencionar las tres principales—, así como la Biología podría reclamar que la adaptación como resultado de la selección natural es un fenómeno que sólo vemos en sistemas biológicos.

La idea de que el poder es una particularidad de las relaciones sociales, basada en el control de los recursos que son importantes para las partes involucradas en dicha relación, permite aproximarse a un análisis de los fenómenos socio-ecológicos de

manera integral, es decir, entenderlos como una serie de relaciones entre el ámbito biofísico y el social, de tal manera que no pueda pensarse en la actividad humana sin el componente natural que forma parte de dicha actividad, y se pueda, por otro lado, entender la dinámica de los ecosistemas integrando el componente social que le corresponde. Por tanto, la propuesta es señalar la importancia de tender puentes entre las disciplinas involucradas, sin que éstas pierdan en ningún momento su identidad. 

**Ludwig García Mata** estudió antropología social en la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH) y actualmente es estudiante de doctorado del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM.

**J. Mario Siqueiros García** pertenece al departamento de Modelación Matemática de Sistemas Sociales, del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM (IIMAS). Tiene un grado de maestría en Antropología de la UNAM y un doctorado en Filosofía de la Biología de la Universidad del País Vasco en España. Sus áreas de investigación son las redes sociales complejas, la antropología computacional y la epistemología del modelaje de las ciencias sociales.

#### Para saber más

- Adams, R. (1983). *Energía y estructura, una teoría del poder social*. México. Fondo de Cultura Económica.
- Balandier, G. (1969). *Antropología Política*. España. Península.
- Mallory, C. (2013) Environmental Justice, Ecofeminism, and Power. In: Rozzi R., Pickett S., Palmer C., Armesto J., Callicott J. (eds) *Linking Ecology and Ethics for a Changing World. Ecology and Ethics*, vol 1. Springer, Dordrecht.
- Stone-Jovicich, S. (2015) Probing the interfaces between the social sciences and social-ecological resilience: insights from integrative and hybrid perspectives in the social sciences. *Ecology & Society* 20: 25. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07347-200225>.

