SOCIEDAD CIENTÍFICA
MEXICANA DE ECOLOGÍA

BOLETÍN de la SCME

Publicación mensual / ISSN-e:2022-en trámite

Volumen 2 / Número 10 / noviembre 2022

CONTENIDO

SOBRE LA PUBLICACIÓN

P. 4 • **Información general y comité editorial**

P. 6 • **Presentación**
Germán Ávila Sákar

P. 10 AVISOS

• **Conferencias de noviembre**
Segundo ciclo de conferencias de ecología para estudiantes de secundaria y preparatoria

CONTRIBUCIONES SOBRE BIODIVERSIDAD, EVOLUCION Y RESILIENCIA

P. 14 • **Biodiversidad y sistemas socioecológicos: historia del cambio global actual**
Miguel Martínez-Ramos, Ireri Suazo-Ortuño, Marco Antonio Vásquez Dávila

P. 26 • **¿Existe la resiliencia socioecológica? Retos, oportunidades y debates alrededor del concepto**
Rafael Calderón-Contreras, Elena Lazos Chavero, Miguel Equihua Zamora

P. 34 • **Futuros decoloniales para la transformación de los sistemas socioecológicos**
Laura Pereira y Patricia Balvanera

P. 44 • **Ecología y evolución en el Antropoceno**
Patricia Ornelas García, Valeria Francisca Souza Saldivar, Juan Servando Nuñez Farfán, Alberto Ken Oyama Nakagawa y Mariana Yólotl Alvarez Añorve

P. 54 • **Biodiversidad, evolución, holobiontes y redes de interacción biológica en el manejo de agroecosistemas**
Francisco Javier Espinosa García

P. 62 • **La evolución de la vida en la jungla urbana**
Marc T. J. Johnson y Diego Carmona Moreno Bello

P. 74 • **Bioculturalidad y resiliencia socioecológica**
Quetzalcóatl Orozco Ramírez, Juliana Merçon, Anabel Ford, Bia'ni Madsa' Juárez López, Elisabeth Huber-Sannwald, Benjamín Ortiz Espejel

P. 84 • **Rutas de transformación para ciudades sostenibles y resilientes**
Martha Bonilla Moheno, Gian Carlo Delgado Ramos, Louise Guibrune, Helda Morales, Iriana Zuria

P. 98 NORMAS EDITORIALES

• **Información para autores**

P. 102 MEMBRESÍA

• **Beneficios para socios**

Da click sobre la página que deseas leer o descargar

BOLETÍN de la SCME

Vol. 2 (10) · noviembre 2022

BOLETÍN de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología

Órgano oficial de difusión de la SCME

El *Boletín de la SCME* es el órgano oficial de difusión de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología (SCME). Es, también, el vehículo principal de la diseminación del conocimiento ecológico de la SCME hacia todo público interesado y servirá como medio de intercambio de descubrimientos, ideas e inquietudes sobre ecología, particularmente enfocándose en la actividad científica que se realiza en México.

El *Boletín de la SCME* es una publicación de divulgación sobre la ciencia de la ecología y temas afines. Los contenidos publicados en el *Boletín* son de absoluta responsabilidad de los autores y no comprometen al Comité Editorial ni a la Sociedad Científica Mexicana de Ecología. Con diez números por año, el *Boletín de la SCME* es editado y publicado por la Sociedad Científica Mexicana de Ecología (scme.mx). Se autoriza la reproducción parcial o total del trabajo citando apropiadamente la(s) fuente(s) y autor(es) respectivos.

Este boletín está impulsado por el Programa de Fortalecimiento de Actividades Vinculadas con la Promoción, Difusión y Divulgación de las Humanidades, Ciencias, Tecnologías y la innovación para Academias y Sociedades Científicas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

BOLETIN DE LA SCME, año 2, No. 10, noviembre 2022, es una publicación mensual editada por la Sociedad Científica Mexicana de Ecología, con domicilio en calle Cipreses, carretera federal México-Cuernavaca, No. 23.5, Colonia San Andrés Totoltepec, C.P. 14400, Tlalpan. Tel. (55) 56229005, Página web: https://scme.mx/boletin-de-la-scme/ Editor responsable: **Germán Ávila Sákar**. Reserva de Derechos al Usos Exclusivo No. **04-2022-070717032400-102**, ISSN: en trámite; ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de actualización de este Número, Vinisa Romero, calle Cipreses, carretera federal México-Cuernavaca, No. 23.5, Colonia San Andrés Totoltepec, C.P. 14400, Tlalpan. Tel. (55) 56229005, fecha de última modificación, 20 de diciembre de 2022.

Publicación electrónica periódica de la
Sociedad Científica Mexicana de Ecología
Año: 2022
Volumen: 2, Número: 10 · noviembre
Diseño editorial: Comité Editorial
Asistente de diseño y página web: Vinisa Romero
Asistente Editorial: Franceli Macedo Santana
En portada: Paisaje rural en los Valles Centrales de Oaxaca. Fotografía: Patty Balvanera

Comité editorial

Editor-jefe
Germán Ávila Sákar

Editoras y editores
Martha Bonilla Moheno
Ek del Val de Gortari
Arturo Flores Martínez
Mario González Espinosa
Miguel Martínez Ramos
Angelina Martínez Yrízar
Juan Jacobo Schmitter-Soto
Ireri Suazo Ortuño

Consejo Directivo SCME 2020-2022

Ireri Suazo Ortuño
Miguel Martínez Ramos
Ek del Val de Gortari
Mayra Gavito Pardo
Julieta Benítez Malvido
Miguel Equihua Zamora
Karina Mariela Figueroa Mora

Regresar al índice

PRESENTACIÓN

Al sentarme a escribir esta presentación me sorprendió que ya hubiera pasado un año y cuatro meses desde la publicación del primer número del *Boletín*. En este tiempo hemos publicado 14 números, cuatro en 2021 y 10 en 2022. Con esto, logramos la tarea que describí como primer reto en la presentación del número de febrero de este año: publicar 10 números en 2022.

Hasta ahora, cada número ha incluido una colección temática de artículos y algunos números también contienen "contribuciones libres", es decir, aquellas cuyos autores enviaron sin invitación del Comité Editorial (CE). Los temas abordados en 2022 fueron variados: restauración socioecológica, zoonosis, el bosque mesófilo de montaña de Veracruz, la investigación ecológica en el sur de México, ecología acuática en México, conservación de especies y ecosistemas mexicanos, interacciones bióticas, especies invasoras, ecología y manejo de bosques tropicales en el Antropoceno y el tema de este número, que incluye reseñas de las conferencias magistrales y paneles de discusión del VIII Congreso Mexicano de Ecología, realizado en mayo de este año.

Según resultados preliminares de un análisis bibliométrico de los textos publicados en 2022, las palabras más frecuentes en los resúmenes fueron, en orden descendente: especies, México, estudios, plantas, agua, ecosistemas y peces (Figura 1a). Entre las palabras clave, los pares de palabras más frecuentes fueron "especies invasoras" y "cambio climático" (Figura 1b). Seguramente, estas palabras reflejan algunos de los temas que se han abordado y también los enfoques principales de muchos estudios ecológicos: las especies y los ecosistemas. Es curioso que "animales" no aparezca en la lista de palabras más frecuentes, a diferencia de "plantas". Esto puede deberse a que usamos los nombres de grupos más específicos de animales, como "peces", "polinizadores" y "aves", que sí aparecen en la lista (Figura 1). En 2023 publicaremos resultados más detallados de este análisis en el *Boletín*. Por lo pronto, gracias a Lourdes Enríquez Clerici y Franceli Macedo Santana por iniciar este análisis bibliométrico.

Para 2023, esperamos recibir suficientes contribuciones libres para visibilizar la enorme y diversa gama de estudios con distintos enfoques de investigación ecológica y socioambiental que se realizan actualmente en México. Con esto en mente, aprovecho para reiterar la invitación del CE a que nos envíes una contribución sobre el tema de tu preferencia para publicarse como contribución general (hasta 1500 palabras) o comentario (hasta 600 palabras), y a que difundas esta invitación a tus colegas cercanos.

Figura 1. Nubes de palabras más frecuentes de los resúmenes (a) y de pares de palabras clave más frecuentes (b) de los textos publicados en 2022. En ambas nubes, el tamaño de la fuente es proporcional a la frecuencia. Elaboración: Franceli Macedo Santana

Personalmente, he aprendido mucho sobre el proceso de edición, que parece más simple de lo que es. En equipo, hemos avanzado en hacerlo un poco más eficiente y seguiremos haciendo ajustes para ayudar a los autores en la escritura y a nuestros editores en la revisión de textos recibidos para su publicación en el *Boletín*.

Varios miembros del CE hemos constatado lo difícil que es escribir textos de divulgación. De hecho, los pocos textos que se rechazaron eran textos demasiado técnicos (no de divulgación) o trabajos originales cuya publicación consideramos más apropiada en una revista especializada de la literatura primaria. A pesar de nuestros esfuerzos, algunas de las contribuciones publicadas quedaron todavía con un nivel técnico que no es fácilmente accesible para un público lector general.

El segundo reto que mencioné en febrero pasado, el de traducir los resúmenes a lenguas indígenas de México, realmente ha sido difícil de alcanzar. Hemos avanzado en recopilar una lista de traductores y, por ahora, contamos con el presupuesto suficiente para pagar sus servicios, pero posiblemente, lo más difícil es decidir a qué idioma indígena, de los muchos que se hablan en México, debería traducirse un resumen. Así, sólo el número de junio de este año contiene resúmenes en lenguas indígenas. La idea de que algo de la difusión del conocimiento sea más accesible para quienes el español no es su primera lengua nos sigue entusiasmando, así que seguiremos con el objetivo de tener, por lo menos, algunos de los resúmenes de las contribuciones generales en alguna lengua indígena.

Algo que no nos imaginamos en el CE es que obtener un registro ISSN (International Standard Serial Number) para el *Boletín* iba a tardar tanto. El trámite se inició desde antes de la publicación del primer número en septiembre de 2021 y sabemos que ha ido avanzando, pero desafortunadamente no sabemos cuándo ya tendremos dicho registro.

Afortunadamente, hemos constatado un gran interés entre nuestros colegas ecólogos por comunicar la ciencia que hacemos. Los temas incluyen aspectos tanto de ciencia básica como de ciencia aplicada, y se ve una preocupación por mostrar la conexión de lo que hacemos con los beneficios que pueden derivarse para la sociedad en general.

BOLETÍN de la SCME

Afortunadamente, hemos constatado un gran interés entre nuestros colegas ecólogos por comunicar la ciencia que hacemos. Los temas incluyen aspectos tanto de ciencia básica como de ciencia aplicada, y se ve una preocupación por mostrar la conexión de lo que hacemos con los beneficios que pueden derivarse para la sociedad en general.

El volumen de 2023 empezará con el número de febrero, que estará dedicado al estudio de los arrecifes coralinos en México. Hemos hecho algunos ajustes a las normas editoriales y a las fechas límite para el envío de contribuciones a considerar para su publicación (información disponible en la página del *Boletín*) todo ello para promover un flujo más eficiente del trabajo editorial y evitar retrasos en las decisiones y en la publicación de los números del *Boletín*. Esperamos tu contribución a la divulgación de la investigación ecológica que realizas. Puedes escribir una contribución general, un comentario, o bien puedes proponer una de colección temática (5-8 contribuciones generales sobre un tema específico).

Germán Ávila Sákar
Editor-jefe
Xalapa, Veracruz, noviembre de 2022

Regresar al índice

AVISOS

Segundo ciclo de conferencias de ecología para estudiantes de secundaria y preparatoria

CONFERENCIAS DE NOVIEMBRE 2022
10:00 - 11:00 HRS

03/11
Hormigas guardaespaldas defensoras de las plantas
Dra. Karina Boege Paré

09/11
¿Cómo nuestra salud depende de la salud del ambiente?
Dra. Mariana Álvarez Añorve

16/11
Efecto de las actividades humanas sobre los murciélagos tropicales
Dr. Luis D. Ávila Cabadilla

23/11
El océano como regulador de ciclos ecosistémicos en el planeta tierra
Dra. Aramis Olivos Ortiz

30/11
Voces de la naturaleza: ¿qué nos dicen los sonidos del estado del ambiente?
Dra. Samantha Ordoñez Flores

Si no puedes conectarte en vivo, el video está disponible en:

YouTube
SCME A.C.

facebook LIVE
@SCMEcología

CONACYT

Regresar al índice

CONTRIBUCIONES SOBRE BIODIVERSIDAD, EVOLUCION Y RESILIENCIA

Planeta Tierra, único cuerpo celeste, hasta ahora conocido, que sostiene vida. A lo largo de más de 3,500 millones de años la vida ha evolucionado dando lugar a decenas de millones de especies. La actividad humana actual e histórica está causando una extinción en masa de especies y cambios profundos de la delgada cubierta vital que rodea la Tierra (biósfera, < 15 km), ocasionando una crisis ambiental global que compromete el bienestar de las personas, sobre todo de aquellas en condiciones de pobreza. Fotografía: Pixabay.

Biodiversidad y sistemas socioecológicos: historia del cambio global actual

Miguel Martínez-Ramos [1], Ireri Suazo-Ortuño [2], Marco Antonio Vásquez Dávila [3]

[1] Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán
[2] Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán
[3] Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca

Resumen

Esta contribución ofrece un contexto a la serie de artículos que conforman el presente número del Boletín de la SCME. Estos artículos son el resultado de las sesiones plenarias que se llevaron a cabo durante el VIII Congreso Mexicano de Ecología (VIII CMEc), realizado en el pasado mes de mayo en la ciudad de Oaxaca de Juárez. Ante la crisis socioambiental contemporánea, que se manifiesta en el llamado “cambio global para el congreso", se adoptó el lema “Aportaciones para la resiliencia socioecológica”. El congreso inició el domingo 23 de mayo, día mundial de la biodiversidad. Considerando estos dos aspectos, la presente contribución inicia con una historia de los grandes cambios que ha tenido la biodiversidad planetaria, sobre todo durante los eventos de extinción masiva de especies, destacando la crisis de biodiversidad actual causada por las actividades humanas. Enfatizamos que los esfuerzos de conservación de la biodiversidad requieren del enfoque socioecológico, en el que se consideran de manera integral diversos factores biofísicos (ambientales, genéticos, ecológicos, evolutivos) y sociales (políticos, económicos, culturales, tradicionales, entre otros) que son determinantes en la búsqueda de acciones efectivas para atender la crisis de biodiversidad. Finalizamos con una síntesis de las actividades logradas en el VIII CMEc y presentando a los siete artículos que conforman el presente número del *Boletín*.

Palabras clave

Antropoceno, evolución, ecología, desarrollo sustentable, VIII Congreso Mexicano de Ecología

La sexta extinción masiva de especies

La vida en la Tierra se manifiesta con una espléndida y pletórica diversidad de organismos, desde las micrométricas bacterias hasta las magnificentes ballenas azules y secuoyas. La ciencia registra entre 1.5 y 2 millones de especies existentes en la biosfera actual. Sin embargo, el registro está lejos de ser completo, pues se estima que el número real estaría alrededor de los 10 millones (May 1988). Aún esta cantidad es una fracción reducida de las decenas de millones de especies que han desfilado a lo largo de la historia de la vida en la Tierra, cuya extensión temporal se proyecta 3,500 millones de años en el pasado (Erwin 2008). Múltiples especies se han bajado del tren evolutivo de la vida de manera sutil, pero en al menos cinco ocasiones lo han hecho de manera repentina, cuando grandes cambios geofísicos y climáticos del planeta produjeron eventos de extinción masiva de especies. El último de estos eventos, provocado por un objeto de origen extraterrestre, ocurrió hace cerca de 66 millones de años. Un asteroide de más de 11 km de diámetro se impactó en la localidad de Chicxulub, hacia la costa norte de la actual península de Yucatán, causando una catástrofe climática y ecológica global que condujo a la célebre extinción de los dinosaurios no aviares (Schulte *et al*. 2010).

Actualmente, nosotros, *Homo sapiens*, una especie que arribó al tren evolutivo de la vida hace *ca*. 300,000 años, está provocando la sexta extinción masiva de especies con cambios en la atmósfera, litósfera y biósfera de tal magnitud que algunos científicos consideran que el planeta ha transitado del Holoceno a una nueva época geológica denominada Antropoceno (Jordan y Prosser 2014).

Fotografía: ArchiViz, Getty Images

Ecología y el cambio global contemporáneo

La ciencia de la ecología tradicionalmente ha buscado entender las causas que determinan la abundancia y distribución de los organismos (Krebs 2009). Las causas subyacen en las condiciones fisicoquímicas (por ejemplo, temperatura, presión y humedad atmosférica, acidez del suelo o agua), la disponibilidad de recursos (elementos finitos usados o consumidos por los organismos; por ejemplo, alimentos, espacio, bióxido de carbono para organismos fotosintéticos, oxígeno para organismos aeróbicos) y las interacciones bióticas (competencia por recursos entre organismos, depredación: uso de organismos —presas y hospederos— como recursos por otros organismos, mutualismo: asociación de beneficio mutuo entre organismos de diferentes especies) que supeditan la capacidad innata de los organismos para sobrevivir, crecer y reproducirse. Las condiciones, recursos e interacciones conforman el ambiente vital en el que se desenvuelven los seres vivos. Este ambiente cambia ampliamente a través de la faz de la Tierra, desde las partes más profundas de los océanos (> 6 km) hasta la punta de las montañas más elevadas (Monte Everest, 8.9 km sobre el nivel del mar) y desde las regiones polares hasta las tropicales. También cambia en un mismo lugar en términos de horas, días, estaciones, años, siglos, milenios. Cada especie representa una solución de la vida (o adaptación) al ambiente imperante en espacios y tiempos particulares, solución que está contenida en el acervo genético que las especies han heredado de sus especies ancestrales maternas.

En general, las especies no son "amos de todas las artes". La evolución conduce a la adaptación a ciertos ambientes, pero no a otros. Así, por ejemplo, las especies adaptadas a ambientes polares tienen limitaciones para desarrollarse en ambientes tropicales y viceversa, así como especies adaptadas a ambientes terrestres no pueden vivir en ambientes acuáticos y viceversa. Sin embargo, dentro de una misma localidad, la adaptación al ambiente puede ser fina y diferentes especies pueden coexistir. Por ejemplo, en las localidades áridas de México los matorrales de plantas leguminosas reducen la pérdida de agua a través de hojas pequeñas que evitan una transpiración excesiva, mientras que las plantas como los cactus y magueyes evitan la desecación a través de tejidos carnosos que almacenan el agua ganada durante los pocos días de lluvia. Aún más, los organismos mismos representan un mosaico de ambientes en el que pueden coexistir diferentes especies parásitas o patógenas. Así, la enorme cantidad y diversidad de especies que han transitado por el tren evolutivo de la vida refleja las múltiples formas en cómo la vida se ha adaptado a la gran variabilidad espacial y temporal de los ambientes que se han manifestado a lo largo de la historia biológica de la Tierra.

Por lo anterior, es poco probable que existan especies con la capacidad de distribuirse a través de toda la biosfera, excepto *Homo sapiens*. Los seres humanos heredamos de nuestra trayectoria evolutiva la habilidad de manipular nuestro entorno ambiental con el desarrollo de una locomoción bípeda, postura corporal erguida, manos con pulgares prensiles, visión binocular, organización social compleja y una capacidad mental "para darnos cuenta de que nos damos cuenta" y "ver" hacia el pasado y el futuro. Tales habilidades permitieron a los antiguos humanos cazadores-recolectores persistir en ambientes difíciles. La invención de herramientas, tales como artefactos de piedra para la cacería y la construcción, el manejo del fuego, producción de vestimentas y cubiertas protectoras fue un salto mayor en la evolución de la especie que la llevó a extender su distribución más allá de su cuna africana.

Hace más de 13,000 años, la habilidad de transformación humana dio lugar a la domesticación de plantas y animales y con ello a la aparición de pueblos en áreas frías, templadas y tropicales del planeta. La creación de la escritura, el manejo de metales, el uso de vehículos de transporte (terrestre y marino) y de estructuras de comercialización y gobierno expandieron la presencia de los seres humanos a través de los cinco continentes. Con el uso de fuentes de energía fósiles (carbón mineral, petróleo, gas metano) y de notables avances científicos, tecnológicos y de la medicina, acaecidos desde el siglo XIX, la habilidad de transformación humana aumentó en magnitud y, con ello, su población y distribución planetaria. Así, se estima que la población humana global hace 13,000 años fue de apenas 10 mil personas, para el año 0 d.n.e. fue de 300 millones, en la edad media (1,500 d.n.e) de 500 millones, a inicios del siglo XX de 1,650 millones y actualmente se ha alcanzado la cifra de 8 mil millones; ¡en los últimos 122 años la población se ha quintuplicado! Además, actualmente los seres humanos pueden sobrevivir en las montañas más altas (con equipo de alpinismo especializado) o en profundidades abisales (con el uso de submarinos), desarrollar megaciudades en prácticamente todos los climas presentes en la Tierra e incursionar fuera de la atmósfera terrestre a través de viajes espaciales. Es muy probable que la especie humana sea la de mayor distribución planetaria actual.

La amplia distribución geográfica, el crecimiento exponencial y las actividades de alto impacto realizadas por los seres humanos están degradando rápidamente el ambiente vital de múltiples especies. El calentamiento global, la contaminación química de la atmósfera, de cuerpos de agua y de suelos, la desertificación, la destrucción de ecosistemas naturales para la producción industrial de alimentos agrícolas, ganaderos y pesqueros, la explotación minera, la defaunación por cacería furtiva, la acumulación de desechos plásticos, entre muchas otras expresiones del llamado cambio global, han resultado en la extinción masiva de especies. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) estima que durante los últimos seis siglos la actividad humana ha llevado a la extinción a cerca de 900 especies y a 28,000 especies las hemos puesto en riesgo de extinción (Turvey y Cress 2019); tan sólo en el periodo de 1970 a 2018, se estima que el 68% de las poblaciones de especies de vertebrados silvestres han colapsado (The Guardian, 2022). Además, se argumenta que *Homo sapiens* ha causado la extinción de cientos a miles de vertebrados durante su proceso de expansión geográfica prehistórica (Turvey y Cress 2019).

Más allá de la ecología para enfrentar la crisis de pérdida de biodiversidad

Los cambios en la biósfera provocados por la actividad humana no sólo afectan a las especies no-humanas sino también a los seres humanos. Como cualquier otra especie, dependemos de un ambiente vital, el cual está estrechamente determinado por la existencia de la biodiversidad. Por ejemplo, en cada inspiración nuestro cuerpo incorpora el oxígeno que es generado por la fotosíntesis de las plantas y en cada exhalación emitimos el bióxido de carbono que las plantas usan para hacer fotosíntesis. Según la ONU, los peces proporcionan el 20% de las proteínas animales a unos 3 mil millones de personas. Más del 80% de la dieta humana está basada en plantas y hongos, y aproximadamente el 80% de las personas que viven en las zonas rurales de países en desarrollo dependen de medicamentos tradicionales obtenidos de la vegetación de su entorno. El agua que bebemos proviene de ciclos ecosistémicos en el que interviene la biodiversidad de ecosistemas terrestres y acuáticos. Por ello, la desaparición masiva de especies y el cambio ambiental causado por la actividad antrópica tienen implicaciones mayores sobre el bienestar de las personas, sobre todo de aquellos en condiciones de pobreza. A nivel global, el ingreso promedio en el 10% de los países más ricos del mundo es de hasta 53 veces mayor que aquel en el 50% de los países más pobres (Chancel *et al*. 2022). Esta enorme diferencia produce grandes desigualdades al acceso y distribución de los beneficios que provee biodiversidad a las personas e indica que una proporción reducida de la humanidad ha contribuido en mayor grado al cambio global (IPBES 2022).

En la búsqueda de acciones de remediación, adaptación o mitigación a la crisis de cambio global no basta con proveer conocimientos generados por la ciencia, en general, y de la ecología, en particular. Se requiere de un cambio transformador que incorpore objetivos de justicia social y sostenibilidad, considerando de manera integral dimensiones sociales, ambientales y económicas, así como los diversos valores que tiene la naturaleza para el bienestar de las personas (IPBES 2022). Las causas que subyacen al cambio global actual se encuentran en la dimensión socioeconómica. Por ello, un enfoque socioecológico es muy promisorio para enfrentar la crisis (Ostrom 2009). Los sistemas socioecológicos emergen de la interacción entre un complejo de factores biofísicos y sociales, interrelacionados y anidados a través de diferentes escalas de tiempo y espacio. El acoplamiento entre estos subsistemas determina el estado y dinámica del problema focal de interés.

Para conservar a una especie en peligro de extinción es importante tener conocimiento biológico (genético, fisiológico, conductual, ecológico, entre otros) de la especie pero sobre todo de políticas, leyes, acuerdos institucionales, saberes tradicionales, recursos económicos y una gran conciencia social para la conservación. Un ejemplo claro de esto es el de la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y del pez totoaba (*Totoaba macdonaldi*), especies que viven en el Golfo de California y que están en alto riesgo de extinción, no obstante que han sido foco de muchos estudios y que se encuentran en una reserva de la biósfera. La falta de acuerdos que incluyan a los diferentes sectores involucrados ha facilitado la sobrepesca ilegal de la totoaba, la degradación del hábitat y la muerte de las vaquitas al quedar enredadas en las redes de pesca de la totoaba, está llevando a la extinción a las dos especies (Cisneros-Montemayor y Vincent 2016; Figura 1).

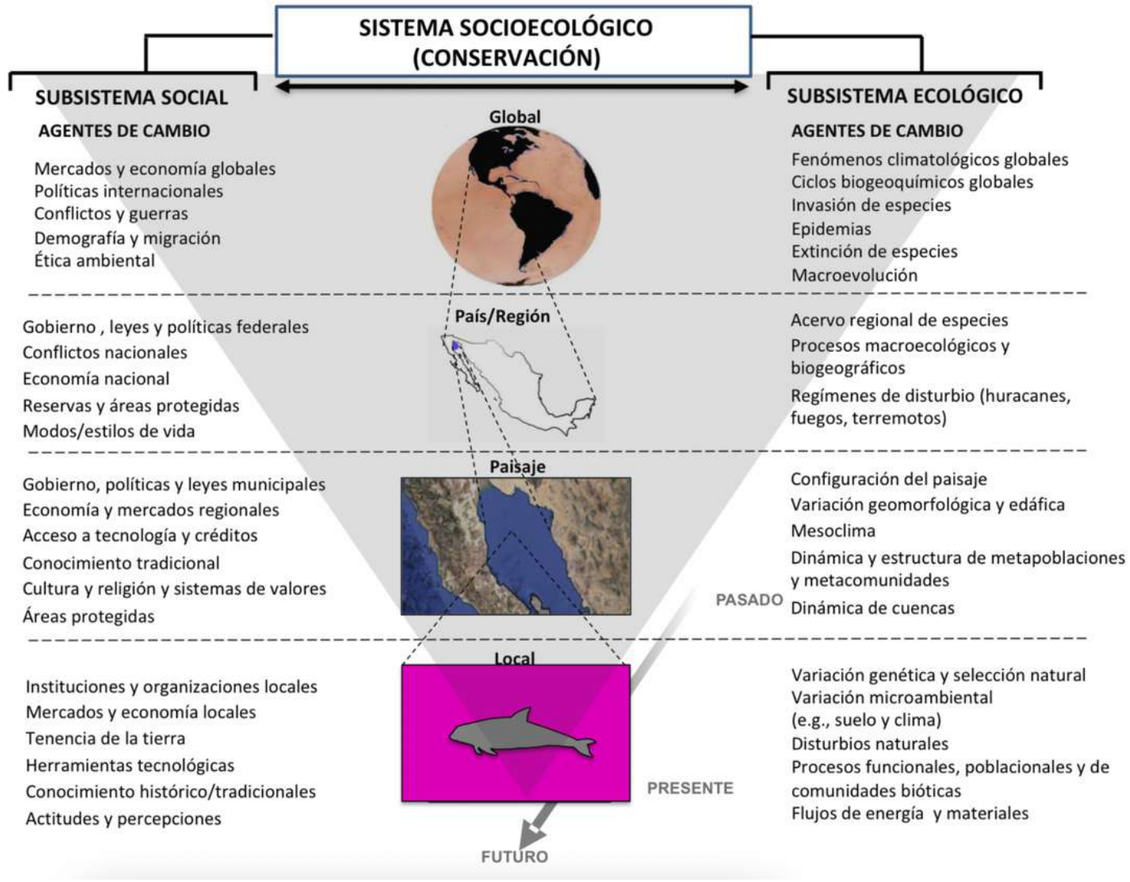


Figura 1. La conservación de la vaquita marina depende de un complejo de factores biofísicos y sobre todo sociales que están interrelacionados a diferentes escalas espaciales (desde lo local a lo global y viceversa) y temporales (del pasado al futuro). El esquema ilustra el complejo sistema socioecológico, con los factores de los subsistemas social y biofísico, del cual depende la conservación (o extinción) de este mamífero marino. Esquema elaborado por Miguel Martínez-Ramos; la imagen de la región del Mar de Cortés (paisaje) se obtuvo de Google Earth ©.

VIII Congreso Mexicano de Ecología

Considerando todo el contexto anterior, la Sociedad Científica Mexicana de Ecología, con el apoyo del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Unidad Oaxaca, el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad y el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, celebró su VIII Congreso Mexicano de Ecología (VIII CMEc) en la ciudad de Oaxaca, adoptando el lema "Avances para la resiliencia socioecológica". Este lema dio cabida a ocho sesiones plenarias, 33 simposios (con 234 trabajos), 70 sesiones de contribuciones orales (540 trabajos), 8 sesiones de contribuciones en formato de cartel (453 trabajos), además de talleres, cursos y excursiones científicas, en las cuales se expusieron trabajos y actividades recientes logrados en la ciencia de la ecología en nuestro país, muchos de ellos abordando temas relacionados con problemas socioecológicos asociados al cambio global. En total se presentaron más de 1,200 contribuciones, en las que participaron estudiantes, profesores, investigadora(e)s y otros actores de la sociedad civil.

Las ocho sesiones plenarias incluyeron cuatro paneles de discusión, un debate y tres conferencias magistrales. El primer panel abordó el tema "Los retos y oportunidades para la conservación de la biodiversidad" con la participación de Patricia Balvanera (Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad –IIES- de la UNAM), Carlos Galindo Leal (Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), Claudia Moreno (Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo), Enrique Martínez Meyer (del Instituto de Biología –IB-, UNAM), con la moderación de Julieta Benítez Malvido (IIES, UNAM). El panel discutió sobre los esfuerzos para identificar y entender los agentes biofísicos, sociales y económicos causantes de la pérdida de genes, poblaciones, especies, clados y ecosistemas. Dada la magnitud y extensión del problema, se enfatizó la urgencia de encontrar acciones para conservar a la biodiversidad, diseñando y efectuando acciones desde vías socioecológicas, en gran medida, como se exhibe en las secciones anteriores de la presente contribución. El segundo panel "Ecología y evolución en el Antropoceno" (ver artículo 4 de este *Boletín*) discutió los grandes cambios que están sufriendo los organismos y ecosistemas en el Antropoceno. Se abordó el papel vital que juegan los microorganismos como reguladores de los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas, así como las respuestas ecológicas y evolutivas de la fauna y de la flora a la perturbación antrópica, reflexionando sobre nuevos enfoques de la Ecología necesarios para establecer e interpretar los nuevos patrones de biodiversidad emergentes. El tercer panel denominado "Bioculturalidad y resiliencia socioecológica" (ver artículo 7 de este *Boletín*) abordó desde diversas experiencias, perspectivas y prácticas, cómo se vincula la resiliencia socioecológica (concepto que integra la noción de resiliencia de los ecosistemas aplicada a los socioecosistemas; ver artículo 2 de este *Boletín*) con la bioculturalidad (entendida como la relación entre la vida y la cultura). El último panel, denominado "Conocimiento para la construcción de rutas de transformación urbana sostenible y resiliente" (ver artículo 8 de este *Boletín*), discutió características y condiciones necesarias para que las ciudades se conviertan en motor de conservación de biodiversidad y bienestar humano, incluyendo aspectos como gobernanza, relaciones de poder, capacidades locales, educación ambiental, ecología urbana, agroecología urbana, entre otros. El objetivo último es la construcción de ciudades resilientes y sostenibles. Precediendo a estos paneles, se llevó a cabo un debate sobre las preguntas ¿Existe la resiliencia socioecológica? ¿Cuál es el objetivo de utilizar el concepto de resiliencia socioecológica? (artículo 2 de este *Boletín*). Se debatió si "resiliencia" es un concepto relevante para entender la relación sociedad-naturaleza o bien encubre relaciones de poder en torno a esta relación.

La primera conferencia magistral, "Futuros decoloniales para la transformación de los sistemas socioecológicos" (artículo 3 de este *Boletín*), expuso los principales retos socioecológicos que se enfrentan en el Antropoceno y se explica porqué el cambio decolonializador se ha convertido en un tema clave en la ciencia de la sostenibilidad para mejorar la resiliencia planetaria. Recurrir a los conocimientos ecológicos tradicionales y a los sistemas de conocimiento locales es una herramienta importante para ayudarnos a imaginar cómo podría ser el futuro. La segunda conferencia, "Dinámicas evolutivas de las interacciones biológicas en agroecosistemas: implicaciones de manejo" (artículo 5 de este *Boletín*), examinó cómo la evolución de holobiontes (sistemas formados por plantas individuales y sus especies simbióticas) que involucran especies arvenses en agroecosistemas tradicionales generan redes de interacción biológica que contribuyen a la sustentabilidad del agroecosistema, mientras que la evolución de holobiontes sintéticos, a través del uso de agroquímicos, resultan en agroecosistemas no sustentables. La tercera conferencia, "Evolución de la vida en la jungla urbana" (artículo 6 de este *Boletín*), mostró cómo los cambios socioecológicos en las ciudades están afectando la evolución de plantas, animales y microbios y cómo esta evolución puede afectar la ecología de especies, el funcionamiento de los ecosistemas, la conservación de especies raras y la salud humana.

Un corolario de la presente contribución, y de los artículos que se presentan en este *Boletín*, es que es necesario repetir una y otra vez: es impostergable que todos estemos conscientes de la pérdida global de la biodiversidad y que esta conciencia nos lleve a hacer algo al respecto. Esperamos que los resultados del VIIICMEc (libro de resúmenes en: https://www.congresoecologia.org/libro-resumenes) y los artículos aquí incluidos puedan aportar conocimiento y acciones útiles para entender, prevenir o aliviar los problemas socioecológicos emergentes del cambio global.

Literatura citada

- Chancel L, Piketty T, Saez E. 2022. *World inequality report 2022*. Harvard University Press.

- Cisneros-Montemayor AM, Vincent A. 2016. Science, society, and flagship species: social and political history as keys to conservation outcomes in the Gulf of California. Ecology and Society, 21:9. http://dx.doi.org/10.5751/ES-08255-210209

- Erwin DH. 2008. Extinction as the loss of evolutionary history. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105:11520-11527.

- IPBES. 2022. *Summary for Policymakers of the Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Pascual U, Balvanera P, Christie M, Baptiste B, González-Jiménez D, Anderson CB, Athayde S, Barton DN, Chaplin-Kramer R, Jacobs S, Kelemen E, Kumar R, Lazos E, Martin A, Mwampamba TH, Nakangu B, O'Farrell P, Raymond CM, Subramanian SM, Termansen M, Van Noordwijk M, Vatn A (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. https://doi.org/10.5281/zenodo.6522392

- Jordan H, Prosser C. 2014. Indicators of the Anthropocene: is there a case for conservation? *Geology Today*, 30:61-66.

- Krebs, CJ. 2009. Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. 6th ed. San Francisco: Benjamin Cummings.

- May RM. 1988. How many species are there on earth? *Science*, 241:1441-1449.

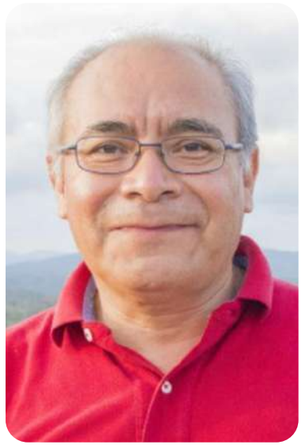
- Ostrom E. 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science, 325: 419-422.

- Schulte P, *et al*. 2010. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, 327:1214-1218.

- Greenfield P, *et al.* 2022. The Guardian, 6 Decembre. https://www.theguardian.com/environment/2022/dec/06/the-biodiversity-crisis-in-numbers-a-visual-guide-aoe

- Turvey ST, Crees JJ. 2019. Extinction in the Anthropocene. *Current Biology*, 29:R982-R986.

¿Quién escribe?



Miguel Martínez Ramos es Biólogo y Doctor en Ecología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Es investigador titular en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha sido Bullard Fellow por la Universidad de Harvard, Presidente de la Association for Tropical Biology and Conservation (ATBC), Presidente de la Sociedad Botánica de México (SBM), Presidente de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología (SCME), Premio Estatal de Ciencia y Tecnología otorgado por el COECyT Michoacán y el Estado de Michoacán. Actualmente es Investigador Nacional del Sistema Nacional de Investigadores y Vicepresidente de la SCME. Desarrolla investigaciones en ecología de poblaciones y comunidades, abarcando temas de demografía de plantas, dinámica de poblaciones y comunidades vegetales y animales, mecanismos de coexistencia de especies, evolución de historias de vida, sucesión ecológica, manejo sostenible de productores forestales, regeneración y restauración de bosques tropicales y dinámica de sistemas socioecológicos en paisajes modificados por actividades humanas.

✉ mmartinez@iies.unam.mx

Ireri Suazo Ortuño es Bióloga y Maestra en Ciencias por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y Doctora en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México. Es investigadora titular del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales de la UMSNH. Imparte clases en la Licenciatura de Bioteconología y en la Maestría en Ecología Integrativa en la Facultad de Biología, UMSNH. Trabaja en tres líneas de investigación y de generación del conocimiento: ecología de poblaciones y comunidades animales, ecología alimenticia y efecto de estresores ambientales sobre parámetros poblacionales, fisiológicos y morfológicos de las especies animales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Investigador del Estado de Michoacán por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología y profesor Perfil PRODEP y Presidenta de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología durante el periodo de 2020 a 2022.

ireri.suazo@gmail.com

Marco Antonio Vásquez Dávila es Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma Chapingo, Maestro en Ciencias en Agroecosistemas por el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Profesor e investigador del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, México desde 1991. Profesor de Etnobotánica, Etnoecología, Relación Sociedad/Naturaleza y Agrobiodiversidad en México, Cuba y Colombia. Profesor del Programa en el Extranjero de la Universidad de Pennsylvania (1999-2003). Ha trabajado en México con siete grupos étnicos de Oaxaca y Tabasco y con afrodescendientes de Cuba. Es director Fundador del Museo de Historia Natural de Tabasco (1989) y de la Licenciatura en Biología en Oaxaca (1994); Presidente de la Asociación Etnobiológica Mexicana (2004-2007) y del Colectivo de Estudios de Biología y Cultura de Oaxaca (2012-2015); Presidente del VIII Congreso Mexicano de Ecología (Oaxaca, 2022); actual Consejero presidente del Consejo Ciudadano para la Biodiversidad de Oaxaca. La docencia, investigación e incidencia que desarrolla se enfoca a las relaciones etnoecológicas y socioambientales en diversas latitudes de su natal Oaxaca.

vasquezdavila2014@gmail.com

Regresar al índice

Vista aérea de una sección de la ciudad de Nueva Orleans, Estados Unidos, después del paso del Huracán Katrina en agosto de 2005. Fotografía: David Mark, Pixabay.

¿Existe la resiliencia socioecológica? Retos, oportunidades y debates alrededor del concepto

Rafael Calderón-Contreras[1], Elena Lazos Chavero[2], Miguel Equihua Zamora[3]

[1]División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana, Cuajimalpa, Ciudad de México, México
[2]Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México
[3]Red de Ambiente y Sustentabilidad, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa-Enríquez, Veracruz, México

Resumen

El concepto de resiliencia socioecológica ha ganado predominancia en la investigación científica relacionada con cuestiones de conservación ecológica, manejo de recursos naturales y desarrollo en el contexto del Antropoceno, así como en el diseño e implementación de políticas públicas. La noción de las personas y la naturaleza como sistemas interdependientes acompaña a la resiliencia desde su adopción en la ecología y ha generado diversos debates en torno a su potencial aplicación y sus alcances para entender mejor las dinámicas vinculantes entre los ecosistemas y la sociedad. La presente contribución va encaminada a abordar el tema de la resiliencia socioecológica resaltando las posturas a favor de su aplicación, así como algunas de las críticas más importantes que ha recibido el concepto en el entorno de la investigación ecológica y social, tanto en México como a nivel global. Resumimos los principales postulados y reflexiones derivadas de estas posturas contrapuestas, sobre todo, evaluando la utilidad del concepto de resiliencia en estudios de corte ecológico.

Palabras clave

resiliencia socioecológica, sistemas complejos, sistemas socioecológicos

Introducción

En un contexto amplio, “resiliencia” se refiere a la capacidad de recuperación de un sistema ante un disturbio. En física, la resiliencia describe la capacidad de una estructura deformada por una presión para recuperar su configuración original. En ecología el concepto se aplica a la capacidad de organismos, poblaciones, comunidades o ecosistemas para recuperar el estado (*e.g.*, estructural, conductual, funcional) que estos tenían previo a disturbios naturales o antrópicos. Pero, ¿tiene sentido hablar de resiliencia en los sistemas socioecológicos? ¿Se comportan los sistemas socioecológicos de manera análoga al concepto físico o ecológico? Si lo hicieran, tendría que depender de la capacidad de auto-organización e interrelaciones del complejo conjunto de factores biofísicos y sociales que integran a estos sistemas. Un problema crítico es definir cuál es el estado de referencia del sistema socioecológico previo al disturbio cuando, por ejemplo, las situaciones sociales son por naturaleza cambiantes e irrepetibles. Así, si bien el concepto de resiliencia, y más específicamente su vinculación con los sistemas socioecológicos han sido abordadas multidisciplinariamente, existen dificultades epistemológicas y ontológicas en torno a su uso en el contexto de la investigación científica, sus aplicaciones y en el diseño de política pública.

Sobre el origen del concepto de resiliencia socioecológica

La resiliencia, como concepto aplicado, se remonta en sus orígenes a la ciencia de los materiales, donde se emplea para describir algunas propiedades físicas (resistencia, elasticidad, deformación) de los materiales al ser sometidos a una fuerza externa. Posteriormente, el concepto fue adaptado y utilizado en la psicología para el estudio de los traumas psicológicos originados por la exposición a eventos traumáticos, tales como los provocados por las guerras. No es hasta finales de la década de los 1980s que la ecología adopta el concepto de resiliencia para aplicarla a sistemas complejos, con el fin de entender las alteraciones de los ecosistemas debido a la influencia de la acción humana y sus consecuencias en el tiempo. Trabajos seminales como los de Holling (1973), Folke *et al*. (2006) o Folke *et al*. (2010) han contribuido a la adopción del concepto de resiliencia en el estudio y análisis de dinámicas socioecológicas en diversos contextos.

El concepto más utilizado en la literatura de sistemas socioecológicos es la que caracteriza a la resiliencia por “absorber los disturbios y reorganizarse mientras se lleva a cabo un cambio en el sistema, reteniendo sus mismas funciones esenciales e identidad” (Folke 2006; Figura 1). En este sentido existe un debate en torno a la definición de resiliencia como una capacidad que debe ser desarrollada desde afuera, o una habilidad intrínseca de los sistemas para robustecerse y hacer frente a los riesgos e impactos externos que reciben. Esta dicotomía, entre resiliencia como capacidad y resiliencia como habilidad, es de suma importancia en torno a su aplicación tanto en el diseño de políticas públicas y mecanismos de conservación ecológica como en su aplicación científica. Mientras que el discurso político ha captado el término de resiliencia como una capacidad que debe ser impulsada desde el conocimiento científico, la resiliencia como habilidad está siendo estudiada en contextos más prácticos y empíricos que se relacionan con su potencial para encontrar alternativas radicales a los problemas inherentes al Antropoceno (Calderón-Contreras y White 2019).

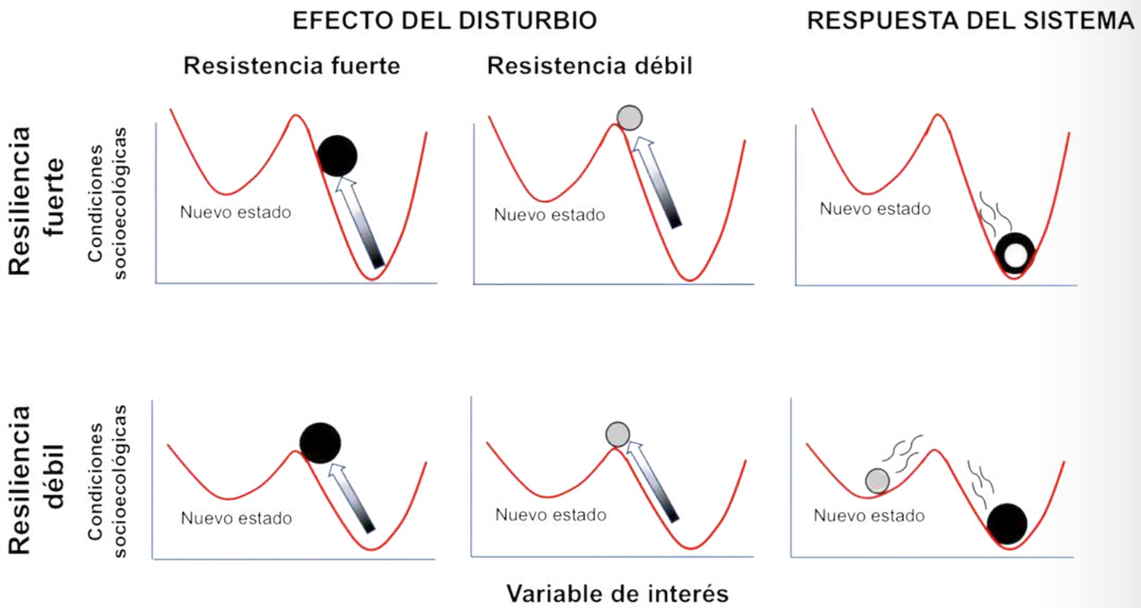


Figura 1. La resiliencia socioecológica se ha ilustrado como una "cuenca de atracción" (estado), en la que un sistema se desarrolla y se dinamiza. Cuando se presenta un disturbio de origen natural (*e.g.*, huracán, fuego, inundación) o social (*e.g.*, crisis económica, política) o ambos (por ejemplo, pandemias), indicado por las flechas, el estado del sistema puede cambiar (respuesta del sistema) a uno nuevo (otra cuenca de atracción) si la resistencia y la resiliencia del sistema al disturbio es débil (esfera pequeña gris) o regresar al mismo estado si la resistencia y la resiliencia es fuerte (esfera grande obscura). La variable de interés (por ejemplo, productividad agrícola o forestal, biodiversidad, calidad de agua, bienestar social) que refleja el estado del sistema afecta a las condiciones socioecológicas del sistema en un momento de tiempo. Modificado de Perfecto et al. (2019).

Los retos principales en la adopción del concepto de resiliencia socioecologica radican en su aplicación, dado que al ser un marco analítico en desarrollo, no existen parámetros claros para su medición, comparación y sobre todo extrapolación a diversos sistemas socioecológicos a diferentes escalas, tanto temporales como territoriales. La noción misma de sistema socioecológico es de difícil aplicación dada la escasa definición de los alcances y limitaciones del concepto. Incluso, existe un debate en torno a la posibilidad de desarrollar niveles de referencia para medir la resiliencia. Aún con todas estas disyuntivas, existen posturas que afirman que el sistema planetario ya se ha vulnerado o está peligrosamente cerca de serlo. Esto implica que nuestra capacidad como

humanidad para vivir en este planeta está comprometida. El daño a los socioecosistemas tiene repercusiones lesivas tanto sobre las capacidades de expresión biótica del bioma como de la sociedad, lo cual destaca que el proceso es, por supuesto, dinámico y no apela necesariamente a estructuras o patrones fijos. Nociones como los límites planetarios, o incluso conceptos como la "antifragilidad" que propone Nassim Nicholas Taleb, tienen potencial para ser aplicados a diversos componentes de los sistemas socioecológicos (Equihua *et al.* 2020). A continuación se enumeran algunas críticas que ha recibido la aplicación del concepto de resiliencia socioecológica en el contexto de los estudios de corte ecológico.

Críticas al concepto de resiliencia

El concepto de resiliencia socioecológica se ha criticado juzgando su origen en el "Norte Global" (es decir, países considerados desarrollados, generalmente encontrados en el hemisferio norte) bajo una visión "positivista" e incluso se le cuestiona como una categoría normativa de justificación neoliberal. En el "Sur Global" (países considerados en vías de desarrollo, generalmente encontrados en el hemisferio sur) existen ejemplos de su uso potencial para entender procesos complejos de la relación sociedad-naturaleza y enfrentar problemas socioecológicos contemporáneos. En este debate se reflexionará, desde dos vertientes, sobre si la resiliencia describe algo relevante o encubre relaciones de poder en torno a la relación sociedad-naturaleza. Una vertiente defiende que la resiliencia socioecológica tiene utilidad para afrontar los retos del Antropoceno mientras que la otra la encuentra fútil, e incluso equivocada, para orientar los intereses de un desarrollo humano equitativo y ambientalmente responsable. En el uso del concepto de resiliencia, es necesario considerar su origen y desarrollo históricos para reflexionar sobre las implicaciones de sus diferentes acepciones en la concepción de políticas públicas y en la gestión socioecológica en general. Entre las implicaciones que se discutirán, destacan la transferencia de responsabilidades sobre los sujetos a nivel individual, la promoción de acciones paliativas superficiales y el paradójico fortalecimiento del paradigma tecnocrático neoliberal que ha contribuido a crear la "necesidad" de adaptarse y ser resiliente ante los embates del cambio global.

Aunque generalmente la literatura de sistemas socioecológicos reconoce que la resiliencia es por sí misma una progresión con respecto a concepciones previas de la naturaleza que se basaban principalmente en nociones de equilibrio e inmovilidad (Béné *et al*. 2014), existe la percepción de que la resiliencia como concepto tiende a ser normativa y poco clara en términos de su aplicación científica. Así mismo, se ha cuestionado la naturaleza "social" de lo denominado "socioecológico" (Calderón-Contreras y White 2019). La predominancia de los estudios netamente ecológicos cobijados por la sombrilla de la resiliencia socioecológica, ha denostado la escasa atención de la ecología en variables profundas que controlan los sistemas desde sus estructuras sociales, como el rol de los agentes sociales y su identidad; las estructuras sociales, institucionales y organizacionales; las interacciones en redes; los intereses políticos y de gobernanza; todo esto enmarcado en la distribución de la agencia y el poder.

La resiliencia y su valor para los estudios de corte ecológico

A pesar de las críticas sobre su origen e implementación, el concepto de resiliencia socioecológica conlleva una serie de oportunidades en torno a la inspección de dinámicas propias de sistemas complejos. El uso del concepto, por ejemplo, puede permitir ampliar el enfoque de la ecología al conectarla con variables sociales que ayudan a explicar los fenómenos estudiados por esta disciplina. La resiliencia continúa ganando terreno como marco analítico aplicable a diversas ramas de la ecología. Los retos que impone el cambio global y sus dinámicas, propias del Antropoceno, requieren la utilización de marcos analíticos radicalmente diferentes, que permitan entender las dinámicas complejas de los sistemas socioecológicos. Ahora, más que nunca, es de vital importancia que se aborde de manera crítica el potencial de la resiliencia socioecológica, con el fin de diseñar medidas innovadoras que ayuden a afrontar las crisis ambientales que aquejan a los diversos sistemas socioecológicos del planeta.

Literatura citada

- Béné C, Newsham A, Davies M, Ulrichs M, R. Godfrey-Wood R. 2014. Review article: Resilience, poverty and development. *Journal of International Development*, 26:598–623.

- Calderón-Contreras R, White C. 2019. Access as the Means for Understanding Social-Ecological Resilience: Bridging Analytical Frameworks. *Society and Natural Resources*, 33:205-223.

- Equihua M, Espinosa Aldama M, Gershenson C, López-Corona O, Munguía M, Pérez-Maqueo O, Ramírez-Carrillo E. 2020. Ecosystem antifragility: beyond integrity and resilience. *PeerJ*, 8:e8533.

- Folke C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16:253–67.

- Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Chapin T, Rockstrom J. 2010. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15:20.

- Holling CS. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4:1-23.

- Perfecto I, Hajian-Forooshani Z, Iverson A, Irizarry AD, Lugo-Perez J, Medina N, Vaidya, C, White, A, Vandermeer J. 2019. Response of coffee farms to hurricane Maria: resistance and resilience from an extreme climatic event. *Scientific Reports*, 9:1-11.

¿Quién escribe?

Rafael Calderón Contreras es Doctor en Desarrollo Internacional y Maestro en Ciencias Ambientales por la Universidad de East Anglia, Inglaterra. Profesor-investigador del Departamento de Ciencias Sociales la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, donde ha desarrollado líneas de investigación sobre la importancia de los servicios ambientales, riesgo y evaluación de la resiliencia de sistemas socio-ecológicos metropolitanos a los impactos del cambio climático global en el contexto del Antropoceno.

rcalderon@cua.uam.mx

Miguel Equhua Zamora es Doctor en Ecología y Maestro en Computación Ecológica por la Universidad de York, Inglaterra. Investigador del Instituto de Ecología, A.C. en la Red de Ambiente y Sustentabilidad. Su principal interés es el de abordar los procesos dinámicos que regulan el ensamble de especies y el desarrollo de modelos de simulación (preferentemente espacialmente explícitos) de la dinámica del ensamble de especies, que permitan incorporar el efecto de cambios significativos del entorno.

equihuam@gmail.com

Elena Lazos Chavero es profesora-investigadora del Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM desde 1992 con licenciatura en Biología por la propia UNAM y maestría en Antropología Social por la Escuela Nacional de Antropología e Historia. Estudió el doctorado en Antropología y Socio-economía del Desarrollo en la EHESS (Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Sociales), París, Francia. Sus líneas de investigación son: ecología política en torno a la conservación de la agrodiversidad y soberanía alimentaria, percepciones e impactos sobre maíz transgénico, género y desarrollo rural, vulnerabilidad ante el cambio climático, cultura y poder en torno a la conservación de los recursos naturales.

elena.lazos@gmail.com

Regresar al índice

La naturaleza como cultura para altamar. Diseño: Care Creative (Derechos Reservados)

Futuros decoloniales para la transformación de los sistemas socioecológicos

Laura Pereira [1] **y Patricia Balvanera** [2]

[1] Global Change Institute, University of the Witwatersrand, Johanesburgo, Sudáfrica

[2] Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán

"El futuro ya está aquí, solo que está distribuido de manera desigual" - William Gibson

Resumen

Nos encontramos en una época en donde las profundas transformaciones al sistema planetario, la crisis climática, la pérdida de biodiversidad y las graves inequidades son parte de nuestra realidad cotidiana. Se requieren cambios transformadores de la forma en la que las sociedades interactuamos con la naturaleza y para lograrlo requerimos de historias que ilustren futuros distintos a lo conocido. Los esfuerzos por imaginar posibles futuros han sido dominados por narrativas provenientes del norte global (países desarrollados encontrados en el hemisferio norte y Australia), lo que limita el abanico de posibilidades a considerar. Para generar historias acerca del futuro que sean más relevantes para el sur global y que permitan deconstruir su colonización histórica y presente se requiere de tres ingredientes: imaginación, diversidad y participación. La imaginación, por ejemplo a través de la ficción especulativa, permite recuperar imaginarios desde distintas culturas. La diversidad de visiones futuras es tan grande como el número de personas

que los imaginan, desde donde se pueden construir visiones compartidas. Para hacer propias las alternativas imaginarias es indispensable la participación de distintos actores y visiones. Las transformaciones radicales que nos permitirán atender las crisis ambiental requieren romper las inequidades históricas y abrirnos a futuros inimaginables desde lo probable o conocido. Sólo así podremos navegar hacia futuros distintos, más justos, más sostenibles.

Palabras clave

decolonialidad, futuros, imaginación, participación, sustentabilidad

Necesitamos imaginar futuros distintos para enfrentar las crisis del presente

Nos encontramos en una época en donde el impacto de las actividades humanas ha transformado radicalmente el funcionamiento de los procesos que regulan la vida en el planeta (Haraway 2015). Se utiliza el término *Antropoceno* para enfatizar cambios acelerados en procesos geológicos planetarios vinculados con cambio de uso del suelo, quema de combustibles fósiles, producción de gases de clorofluorocarbono (que afectan a la capa de ozono), y la rápida pérdida de especies. El término *Plantaciónceno* destaca las plantaciones agrícolas de monocultivo extensivas (como las de caña y plátano) como parte del proceso de colonización de los trópicos, sostenidos por trabajos forzados, para satisfacer las necesidades crecientes de los imperios. El término *Capitaloceno* resalta la dominancia del capital en las formas en las que la naturaleza se apropia para sostener el crecimiento económico. Finalmente, el término *Chthuluceno* evoca utopías que involucran especies no-humanas y poderes míticos (Haraway 2015).

Independientemente de la mirada con la que exploremos la situación ambiental actual, la realidad es que las inundaciones en Pakistán, las sequías extremas en África Oriental y Europa, y los huracanes en latinoamérica ya son parte de nuestra vida cotidiana. Enfrentamos desafíos únicos que requieren formas radicalmente distintas de relacionarnos con la naturaleza. Es necesario pensar en una transformación radical en todo el sistema tecnológico, económico y social que interactúa con la naturaleza, incluso transformar de raíz los paradigmas, los objetivos y los valores que lo sustentan. Sólo esta transformación podrá dirigir los sistemas socio-ecológicos, aquellos que surgen de las complejas interacciones entre sociedad y naturaleza, hacia trayectorias más sustentables y justas (IPBES 2019).

¿Cómo lograr esta transformación profunda? ¿Hacia dónde dirigirnos? Tenemos evidencias contundentes de que, de seguir con la trayectoria actual, enfrentaremos un futuro distópico (o mundo imaginario no deseable) de colapso climático, pérdida de biodiversidad y de profundización de las inequidades entre países, entre sectores sociales y entre especies. Pero tenemos muy pocas historias acerca de cómo podríamos superar estos desafíos del presente y navegar hacia futuros más deseables. Ante desafíos sin precedentes necesitamos soluciones sin precedentes (Hensler *et al*. 2021). Tal vez necesitamos abrir nuestras capacidades imaginativas más allá de lo conocido para visualizar oportunidades para estas transformaciones profundas tan necesarias.

Imaginarios decoloniales

Si es necesario imaginar futuros radicalmente distintos para catalizar los cambios transformadores que se requieren para enfrentar las crisis del presente, entonces ¿cuáles imaginarios? ¿qué futuros son deseables para las personas y para la naturaleza? ¿cuáles futuros serán más relevantes?

En las últimas dos décadas se han dado importantes esfuerzos para imaginar estos posibles futuros y explorar qué podría suceder ante cada uno de estos escenarios. Así, por ejemplo, El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) propone cinco grandes rutas socioeconómicas compartidas (SSPs por sus siglas en inglés) que difieren en términos de las emisiones de gases efecto invernadero producidas, que a su vez dependen de las condiciones de crecimiento poblacional y económico, urbanización, comercio global, energía y sistemas agrícolas (IPCC 2000). La Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES por sus siglas en inglés) propone tres tipos de escenarios con distintos roles en el ciclo de diseño y operacionalización de políticas públicas: (i) “escenarios exploratorios”, (ii) “escenarios de búsqueda de objetivos”, también conocidos como “escenarios normativos” ; y (iii) “escenarios de evaluación de políticas”.

Este gran esfuerzo de identificación de posibles escenarios futuros está, sin embargo, fuertemente sesgado: el sur global (países encontrados Latino América, Africa y Asía) a menudo queda fuera de la conversación sobre cómo podrían ser los futuros transformadores. Sin embargo, en el sur global se encuentra una enorme proporción de la biodiversidad del planeta, existe un conocimiento tanto ancestral como actualacerca de esta diversidad, y hay una multiplicidad de culturas y expresiones sociales que difieren de las que se experimentan en los países del norte global. Historias inspiradoras y ricos imaginarios desde América Latina, África, y el Sudeste Asiático pueden contribuir a imaginar futuros muy distintos (Nagendra 2018). Sin embargo, una gran parte de la literatura sobre escenarios está dirigida por esfuerzos desde el norte global y estas historias desde el sur no se escuchan. Las perspectivas coloniales dominantes permean las aspiraciones de nuevos posibles futuros (Trisos, Auerbach y Katti 2021).

Ignorar las visiones de posibles futuros desde el sur global no sólo es perjudicial para esta región del mundo, cuyos sistemas de conocimiento e historias desaparecen, sino también para todo el mundo. Se pierden las posibilidades de innovación social y ecológica que ofrecen las diversas culturas y tradiciones locales y, por lo tanto, no es posible imaginar trayectorias alternativas radicalmente transformadoras en el Antropoceno. A medida que nos hemos globalizado, algunas narrativas se vuelven dominantes, determinan los límites de lo que se considera “preferible”, relegando a los márgenes otras visiones y opciones. Así por ejemplo, dominan las narrativas acerca de que el crecimiento económico es inevitable, además de deseable, y que el sistema capitalista, a pesar de sus fallas, nunca morirá. Se da entonces un círculo vicioso en donde las narrativas dominantes aseguran el mantenimiento del *status quo* y no hay espacio para deconstruir las inequidades estructurales, lo que limita las oportunidades para abrir nuestra imaginación y visualizar alternativas radicalmente diferentes.

Tres ingredientes para contar con historias acerca del futuro más diversas e imaginativas

Se requieren nuevas herramientas para reducir la brecha geográfica y la brecha imaginativa en la forma en que pensamos sobre el futuro. Una opción, basada en la riqueza de las humanidades, es a través de la narración de cuentos, la ciencia ficción o la ficción especulativa. Técnicas como la creación de prototipos de ciencia ficción son cada vez más reconocidas en el mundo académico (Merrie 2017). La ficción climática se ha convertido en un género importante para la toma de decisiones en el futuro, y en particular aquella que surge de sistemas de conocimiento indígena permiten un enfoque decolonial (Hartmann *et al*. 2012).

Los tres ingredientes de la generación de historias acerca del futuro más relevantes para el sur global son: la imaginación, la diversidad y la participación.

1.- Imaginación

“La imaginación ayuda a trascender el pensamiento convencional para visualizar nuevas posibilidades… ayuda a dar sentido a la experiencia y juega un papel vital en los procesos de aprendizaje, donde hechos y datos particulares y estables se mezclan con emociones, recuerdos e intenciones cambiantes” (Egan 1992). Deconstruir y replantear la imaginación colonizada es fundamental para poder imaginar alternativas radicales y visualizar un cambio transformador. Por ejemplo, la ficción especulativa africana puede convertirse en un reclamo fundamental del imaginario popular africano que utiliza el medio ambiente y los sistemas de creencias como el animismo para definir lo preferible en sus propios términos (Lavery *et al*. 2022; Figura 1 y portada).

Figura 1: La naturaleza en el futuro. Artista: James Tambula de Malawi.

2. Diversidad

Hay tantos futuros deseables como personas que pueden imaginarlos. Es por lo tanto importante reconocer esta diversidad más que forzar el consenso a partir de visiones dominantes. Es posible generar futuros especulativos generados colectivamente como el ramo de futuros co-especulativos (Lohmann 2018). Las herramientas artísticas permiten develar esta diversidad y creatividad, para comprender el abanico de preferencias futuras y manejar los conflictos entre estos de maneras constructivas (Figura 2).

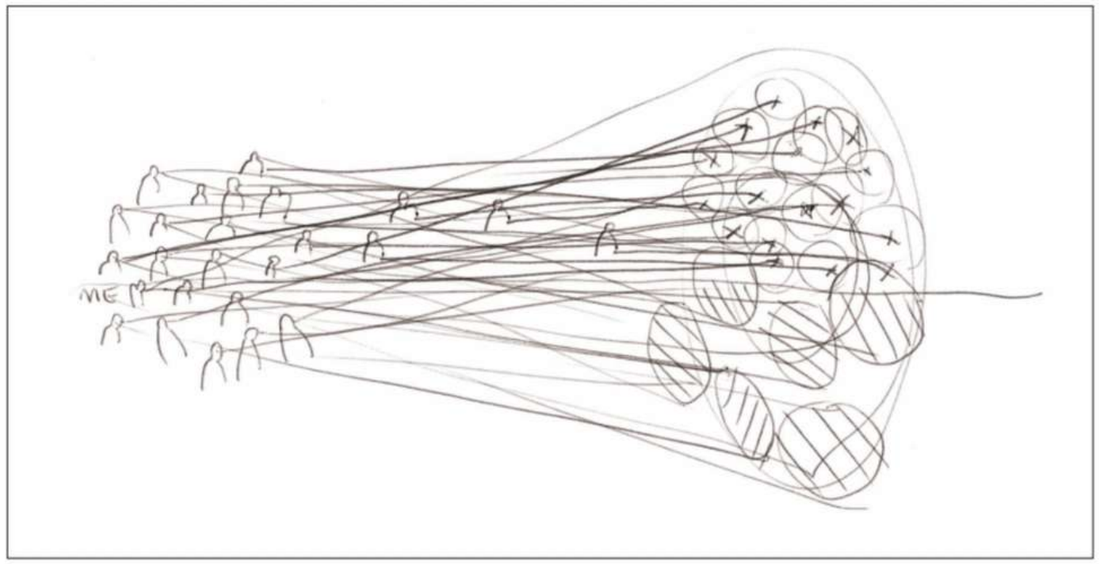


Figura 2: Abanico especulativo generado colectivamente (Lohmann 2018).

La Red de Custodios del Bosque de Xalapa, Veracruz, ha explorado la diversidad de escenarios futuros posibles para la creación de una red de áreas naturales protegidas alrededor de la ciudad. Esto lo ha logrado a partir de reconocer la diversidad de valores y visiones de los actores involucrados en el colectivo transdisciplinario (Hensler, Merçon, and Vilsmaier 2021). Al convocar a distintos actores y utilizar herramientas artísticas para develar la diversidad de valores y visiones, fué posible generar un proceso de aprendizaje colectivo para identificar visiones compartidas, que además fortaleció los procesos de toma de decisiones incluyentes del colectivo.

3. Participación

Para hacer propias las distintas alternativas imaginarias es indispensable la participación. Es necesario que la diversidad de actores, culturas, necesidades, y valores esté adecuadamente representada. Coproducir futuros no solo es importante en términos de los resultados, sino porque también puede conducir a aprendizajes importantes al participar en el proceso mismo. Los métodos participativos para identificar futuros a nivel local permiten rescatar visiones que se comparten y generan conocimiento y fortalecen la toma de decisiones colectiva. Para lograrlo es indispensable contar con la participación de personas que viven distintos contextos y distintas problemáticas. Así por ejemplo, para tener un tapiz planetario de visiones sobre los océanos globales es necesario contar con la participación de personas que plasmen el abanico de visiones del futuro de distintas partes del planeta (Pereira *et al.* 2020; Figura 3).

Figura 3: Proceso de coproducción de futuros para 'Altamar' basados en el arte.
Fotografía: Claire Homewood

Conclusión

La única forma de atender la actual crisis climática y de biodiversidad es una transformación radical. Esta transformación requiere estar sustentada en imaginarios futuros radicales, que escapen de las narrativas dominantes, y que reflejen adecuadamente las visiones de la diversidad de contextos en el planeta. Para poder romper las inequidades heredadas de los procesos de colonización (pasados y presentes), es necesario abrir el imaginario a las voces desde el sur global, y fomentar la imaginación, la diversidad y la participación. Cuando el futuro se predice a partir de lo probable y conocido, lo más probable es que lleguemos a supuestos obsoletos. Necesitamos de imaginarios radicalmente distintos para poder navegar la complejidad de nuestros tiempos y abrir futuros distintos, más justos, más sostenibles.

Literatura citada

- Egan K. 1992. *Imagination in Teaching and Learning: The Middle School Years*. London, U.K, Althouse Press.
- Haraway D. 2015. Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin. *Environmental Humanities*, 6:159–65.
- Hartmann I, Okorafor WN, Lotz S, Huchu T, Zinn C, Jacobs A, Wood N, Thompson T. 2012. *En* I W Hartmann, ed. *AfroSF : Science Fiction by African Writers*. Story Time.
- Hensler L, Merçon J, Vilsmaier U. 2021. Diverse values and a common utopia. *Case Studies in the Environment*, 5:1234747.
- IPBES. 2019. The Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. En Bonn, Germany: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- IPCC. 2000. Emissions Scenarios. Nebojsa Nakicenovic, Rob Swart (Eds.) *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lavery C, Pereira L, Chibwe B, Moonsamy N, Onwualu C, Terry N. 2022. Mosquitoes, mushrooms, magic: Africanfuturist SF for Nature's Futures. *Vector*, 27.
- Lohmann J. 2018. *The department of Seaweed: co-Speculative design in a museum residency*. Thesis, Royal College of Art, England.
- Merrie A, Keys P, Metian M, Österblom H. 2018. Radical ocean futures-scenario development using science fiction prototyping. *Futures*, 95:22-32.
- Nagendra H 2018. The global south is rich in sustainability lessons. *Nature*, 557:485–88.
- Pereira L, Davies K, den Belder E, Ferrier S, Karlsson-Vinkhuysen S, Kim H, Kuiper J, *et al*. 2020. Developing multi-scale and integrative nature-people scenarios using the nature futures framework. *People and Nature*, 2:1–24.
- Trisos, C H, Auerbach J, Katti M. 2021. Decoloniality and anti-oppressive practices for a more ethical ecology. *Nature Ecology & Evolution*, 5:1205-1212

¿Quién escribe?

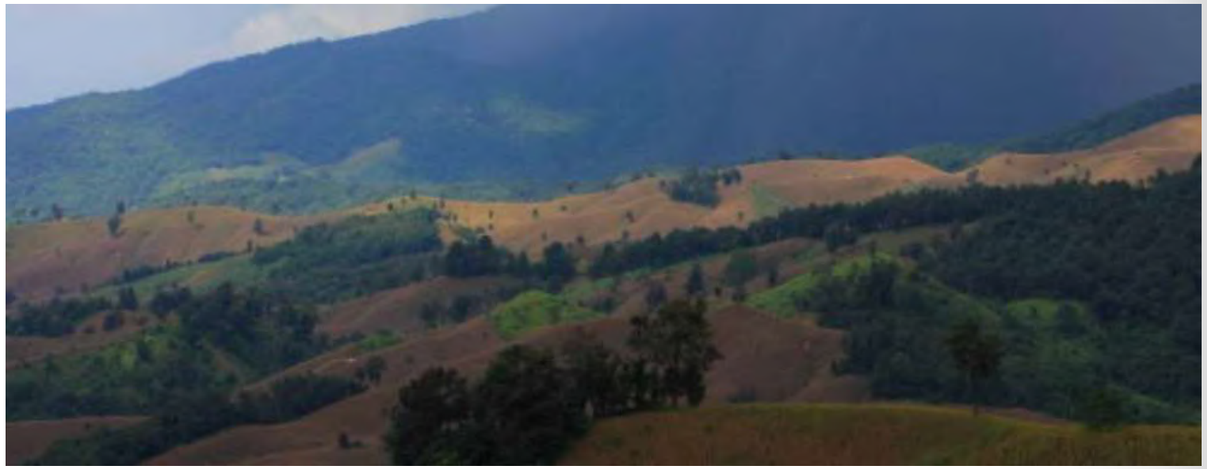
Laura Pereira es la Exxaro Research Chair en el Instituto de Cambio Global en la Universidad de Wits e investigadora en el Centro de Resiliencia de Estocolmo. Es una científica de sostenibilidad interdisciplinaria, con formación en ecología, derecho, zoología y geografía humana. Después de su licenciatura en Wits, completó su doctorado en Geografía en la Universidad de Oxford en 2012, antes de realizar un posdoctorado en ciencias de la sostenibilidad en la Escuela Kennedy de Harvard y en la Universidad de Ciudad del Cabo. Posteriormente ha trabajado en la Universidad de Stellenbosch, la Universidad de la Ciudad de Londres y la Universidad de Utrecht. Está interesada en la interfaz entre el conocimiento tradicional y la innovación, el papel de las técnicas de futuros para permitir el cambio transformador y el desarrollo de métodos innovadores para la coproducción de conocimiento en contextos del sur global. Laura forma parte del Grupo de Trabajo de IPBES sobre escenarios y modelos y también es miembro del Grupo de Trabajo 4 sobre Transformaciones de la Earth Commission.

pereira.laura18@gmail.com

Patricia Balvanera es investigadora del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM. Cuenta con una licenciatura en Biología por la Universidad Nacional Autónoma Metropolitana, y una Maestría en Ciencias y un Doctorado en Ecología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Después de una estancia postdoctoral en la Universidad de Stanford, se incorporó a la UNAM. En sus investigaciones analiza los vínculos entre la naturaleza y el bienestar humano a escalas globales y locales. Co-coordinó la Red Temática de Socioecosistemas y Sustentabilidad, el comité científico del Programa de Cambios en los Ecosistemas y Sociedad (PECS), y equipo de servicios ecosistémicos para el monitoreo global de la biodiversidad (GEOBON). Desde el 2014 colabora con la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES), para la cual fué co-presidenta de la evaluación sobre valores de la naturaleza . Es editora en jefe de la revista Ecology and Society.

pbalvanera@iies.unam.mx

Regresar al índice



Un paisaje rural común en el Antropoceno. Fotografía _____, istock

Ecología y evolución en el Antropoceno

Patricia Ornelas García[1], Valeria Francisca Souza Saldivar[2], Juan Servando Nuñez Farfán[2], Alberto Ken Oyama Nakagawa[3], Mariana Yólotl Alvarez Añorve[4]

[1]Colección Nacional de Peces, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México
[2]Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México
[3]Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán
[4]Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, Mérida, Yucatán

Resumen

La actividad humana ha tenido un efecto drástico sobre la biósfera afectando de forma profunda a las especies y sus interacciones (Figura 1). Esta afectación, equivalente a un evento geológico, sugiere que estamos viviendo una nueva época denominada Antropoceno, en la que el funcionamiento de la Tierra se ha alterado a diferentes niveles. La diversidad de microorganismos que sostienen los ciclos biogeoquímicos (del carbono, fósforo, nitrógeno) que sustentan la vida como la conocemos, ha sufrido alteraciones. Lo mismo ocurre con la comunidad de microorganismos presentes dentro de otros organismos (microbioma) que está siendo alterada por el cambio global, afectando con ello la capacidad de sobrevivencia de sus hospederos. Desafortunadamente, lejos de detectar estos cambios, nos percatamos de los daños ya cuando estamos frente a una extinción masiva de especies. En el caso de los animales, esta extinción se denomina defaunación. Un tercio de los vertebrados se encuentran amenazados, siendo mayor su disminución en climas tropicales que en los templados y en los ambientes acuáticos (sobre todo dulceacuícolas) que en los terrestres. Con la pérdida de especies también hay una pérdida de funciones y linajes evolutivos, por lo que requerimos del enfoque evolutivo para abordar los problemas ambientales que afectan a los organismos (*v.gr.* disminución del éxito reproductivo y de la diversidad genética). Además, debemos incorporar nuevos enfoques que permitan interpretar los patrones ecológicos emergentes en el Antropoceno (investigaciones con enfoques globales, grandes bases de datos, migraciones, etc). Para ello, la coordinación entre sociedad, academia y gobierno es más forzosa y definitoria que nunca.

Palabras clave

ambientes dulceacuícolas, ciclos biogeoquímicos, defaunación, evolución, microbioma

Figura 1. Deforestación de una selva tropical. Fotografía: Paralaxis, Istock.com

La actividad humana ha tenido un efecto drástico sobre la biósfera y la geosfera, afectando de forma pervasiva y profunda a las especies y sus interacciones. Esta afectación representa una fuerza casi equivalente a un evento geológico, por lo cual se plantea que estamos viviendo una nueva época, denominada Antropoceno, en la que incluso los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo, del carbono, fósforo y nitrógeno) que sustentan la vida tal y como la conocemos han sufrido alteraciones. Estos ciclos biogeoquímicos aún dependen de las primeras formas de vida que se formaron en el planeta, como las bacterias, cuya diversidad también se encuentra amenazada actualmente. Un claro ejemplo de esto es el caso de las lagunas de Cuatro Ciénegas (Coahuila, México), donde habitan microbios (por ejemplo, las arqueobacterias) que han estado en la Tierra desde hace miles de millones de años y que constituyen un relicto sumamente diverso de un mar ancestral (Souza *et al.* 2012).

Fotografía: Arndt-Peter Bergfeld, Pexels

Aún los santuarios de Cuatro Ciénegas están desapareciendo a causa de actividades humanas, tales como la contaminación y la extracción de agua. Con los santuarios está desapareciendo también la "ingeniería original" del planeta que posee aún las soluciones para nuestros problemas más acuciantes, como la restauración del ciclo de nitrógeno que ya está sumamente alterado por el uso indiscriminado de agroquímicos. La entrada excesiva de nutrientes, de hecho, asfixia a los diferentes cuerpos de agua y genera zonas mínimas de oxígeno, eliminando o comprometiendo la existencia de muchas especies (Ponce-Soto *et al.* 2015).

Así como los ciclos biogeoquímicos definen el funcionamiento de la biósfera, también la comunidad de microorganismos presentes dentro de otros organismos (denominada microbioma) determinan su funcionamiento y la dinámica de sus poblaciones. El cambio global está afectando también el microbioma de diferentes organismos y con ello su capacidad de sobrevivencia (Lesser *et al.* 2016). Un ejemplo de esto lo encontramos en los pingüinos de la región de Magallanes (Figura 2) y en la Antártica chilena, pues en estas aves habita un microbioma que se ve alterado en condiciones de estrés/desnutrición. Sin embargo, aún son incipientes (y urgentes) los estudios de este tipo que detecten en detalle las afectaciones fisiológicas en las diferentes especies, incluyendo la humana.

Figura 2. Pingüinos rey de la región de Magallanes (Chile). Fotografía: Valeria Souza Saldivar

Desafortunadamente, lejos de detectar este tipo de cambios, nos percatamos de los daños a la biodiversidad ya cuando las especies están extintas o en grave peligro de extinción. Esto nos impide predecir o prevenir estas pérdidas y nos enfrenta a una extinción masiva de especies o poblaciones, procesos que, en el caso particular de los animales, se conocen como defaunación. Así, en el planeta se estima que existen entre 5 y 9 millones de especies de animales, de las cuales se están perdiendo entre 11 mil y 58 mil especies por año (Mora *et al.* 2011). Para el caso de los vertebrados, un tercio se encuentra en alguna categoría de amenaza y debe resaltarse que en climas tropicales la abundancia de vertebrados ha disminuido más que en climas templados. Se ha documentado que este proceso de defaunación, resultado de la actividad humana, puede ser tan antiguo como hace 100 mil años y que la afectación ha ocurrido a diferentes escalas geográficas, causando en algunos casos procesos de co-extinción en cascada. Aunado a la evidente pérdida de diversidad taxonómica (número de especies), durante este proceso de defaunación también hay una pérdida de funciones y linajes evolutivos, que en algunos casos hace impredecible el impacto evolutivo de estas extinciones.

Aunque la defaunación ha ocurrido tanto en ambientes acuáticos como terrestres, el declive en los ambientes dulceacuícolas ha sido el más severo. Esto queda de manifiesto en el mayor número de amenazas para las especies de estos ambientes, así como en el porcentaje de especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo. De hecho, se estima que cerca del 80% de los ambientes dulceacuícolas están impactados por las actividades humanas, lo que alerta al respecto de la conservación de su fauna.

México es un país privilegiado dentro de Norteamérica, con más de 600 especies de peces dulceacuícolas, de las cuales el 43% son endémicas. Sin embargo, el territorio presenta fuertes retos debido a la escasez de cuerpos de agua, se estima que para el 2025 cerca del 55% del territorio presentará desabasto de agua. Actualmente, no sólo la distribución diferencial de los recursos hídricos pone en riesgo la diversidad de peces dulceacuícolas, sino también el fuerte impacto derivado de las actividades antropogénicas sobre las diferentes cuencas del país, donde el 90% de las descargas afecta 20 cuencas. En un estudio piloto se evaluó el efecto de la huella humana en tres cuencas de México (*i.e.* Cuatro Ciénegas, Lerma y Grijalva) y se pudo constatar el fuerte impacto que sufren debido a la actividad humana. De menor a mayor impacto, tuvimos a Cuatro Ciénegas, con el 48% de las especies de peces presentes en ambientes perturbados, mientras que para la cuenca del río Lerma este porcentaje aumentó al 92%. De estas especies, 72% están en alguna categoría de amenaza. Así, es evidente la necesidad de incrementar el grado de conocimiento tanto de la diversidad como el estado de conservación de la fauna dulceacuícola.

Aunque en México tenemos antecedentes de trabajos ecológicos desde mediados de los años cincuenta del siglo pasado, el crecimiento más importante de esta disciplina data de los últimos cuarenta años en los que se han realizado grandes avances en el estudio de nuestros ecosistemas y biodiversidad, a la altura de países como Argentina, Chile y Brasil. El estudio del efecto de la actividad humana y el cambio global en la evolución de los organismos, por otra parte, aparece hasta finales del siglo XX y hoy muchos de los estudios ecológicos se inscriben perfectamente dentro de los estudios evolutivos (siendo el enfoque evolutivo fundamental para la biología y ecología actuales como se explica a continuación). De hecho, el cambio ambiental inducido por los humanos hace necesaria la aplicación de principios evolutivos para el entendimiento y resolución de los problemas que hoy afectan a los seres vivos. Por ejemplo, el cambio global está afectando el éxito reproductivo y la viabilidad poblacional de un gran número de especies, mismas que ven afectada su diversidad genética y por ende su capacidad de sobrevivencia. En el caso de las selvas tropicales, en particular, con la fragmentación provocada por el cambio de uso de suelo, se ven afectadas las interacciones entre organismos como aquellas que existen entre planta y polinizador y entre planta y dispersor, entre muchas otras. La pérdida de estas interacciones limita el éxito reproductivo y resulta en una pérdida de diversidad genética para las especies que quedan aisladas en los fragmentos, lo que tiene profundas implicaciones en la capacidad de estas especies para evolucionar/adaptarse a estos nuevos ambientes (Chávez-Pesqueira *et al.* 2014). Existen sobradas evidencias de esto en la selva de los Tuxtlas (Veracruz, México), cuyo proceso de transformación y defaunación ha sido extensamente documentado

Entonces, la intersección entre la ecología y evolución, mejor conocida como “ecología evolutiva”, es necesaria para analizar los factores selectivos que producen los ajustes adaptativos en las especies. A este enfoque se deben incorporar, además, nuevos enfoques de investigación que nos permitan establecer e interpretar los patrones ecológicos emergentes en el Antropoceno. Por ejemplo, deben realizarse investigaciones con enfoques globales, con grandes bases de datos (big data), sobre conectividad biológica, migraciones, entre otros aspectos. Finalmente, es importante notar que para que con este conocimiento se puedan implementar acciones que mitiguen la pérdida de diversidad en México y en el planeta, es indispensable fortalecer la coordinación entre la sociedad, la academia y el gobierno. En el Antropoceno, más que nunca, esta coordinación es forzosa y definitoria.

Literatura citada

- Chávez-Pesqueira M, Suárez-Montes P, Castillo G, Núñez-Farfán J. 2014. Habitat fragmentation threatens wild populations of Carica papaya (Caricaceae) in a lowland rainforest. *American Journal of Botany*, 101:1092-1101.

- Lesser MP, Fiore C, Slattery M, Zaneveld J. 2016. Climate change stressors destabilize the microbiome of the Caribbean barrel sponge, Xestospongia muta. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 475:11-18.

- Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AG, Worm B. 2011. How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9:e1001127.

- Ponce-Soto GY, Aguirre-von-Wobeser E, Eguiarte LE, Elser JJ, Lee ZMP, Souza V. 2015. Enrichment experiment changes microbial interactions in an ultra-oligotrophic environment. *Frontiers in Microbiology*, 6:246.

- Souza V, Siefert JL, Escalante AE, Elser JJ, Eguiarte LE. 2012. The Cuatro ciénegas basin in Coahuila, Mexico: an astrobiological precambrian park. *Astrobiology*, 12:641-647.

¿Quién escribe?

Claudia Patricia Ornelas García obtuvo la Licenciatura en Biología por la Universidad Autónoma de Querétaro y el Doctorado Europeo en Biología de la Conservación por la Universidad Complutense de Madrid, España. Ha realizado Posdoctorados en la Universidad Autónoma de Tlaxcala y en el Instituto de Biología de la UNAM, en donde actualmente es Investigadora Titular A y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Su línea de investigación se centra en la sistemática y biología evolutiva de peces de agua dulce y en particular se ha enfocado en estudiar los mecanismos que promueven la evolución molecular y fenotípica en escenarios de divergencia adaptativa. En el laboratorio se tienen diversos organismos modelo, siendo de mayor interés la especie *Astyanax mexicanus*, incluyendo tanto a las poblaciones de superficie como de cuevas, así como otras especies del género de México y Centroamérica, abordando preguntas de investigación que van desde su sistemática, historia evolutiva, reproducción, evolución de caracteres complejos, evolución morfológica, entre otras. Entre su producción científica se cuenta con 27 artículos en revistas indizadas, tres libros coeditados, y seis capítulos de libro.

patricia.ornelas.g@ib.unam.mx

Valeria Francisca Souza Saldivar obtuvo la licenciatura como bióloga, la maestría en ciencias y el doctorado en ecología en la Universidad Nacional Autónoma de México. Posteriormente obtuvo dos posdoctorados bajo la tutela del Dr. Richard Lenski (Universidad de California, Michigan State University). Actualmente es Investigador Titular C del Instituto de Ecología (UNAM) y es SNI nivel III. Su área de trabajo es la Ecología Evolutiva y la Evolución Molecular de los Microorganismos y trabaja con la pregunta: ¿por qué hay tantas especies? Es decir, cuales son los procesos que separan a los organismos que forman poblaciones hasta convertirlos en especies, y cómo varias especies similares pueden coexistir en un sitio particular. Entre su vasta producción científica se encuentran 125 artículos de investigación publicados en revistas arbitradas internacionales (con más de 7000 citas), 40 capítulos en libros, un libro coeditado y dos textos de biología para preparatoria. Sus numerosas distinciones incluyen una beca de la fundación MacArthur, el Premio Nacional de Conservación (SEMARNAT), el Premio VW por amor al planeta, el premio-beca Aldo Leopold (Instituto Woods de Stanford) y el premio "environmental stewardship" de la Sociedad Científica de Agua Dulce). Actualmente es miembro internacional honorario de la Academia Americana de Ciencias y Artes.

souza.valeria2@gmail.com

Juan Servando Nuñez Farfán es investigador del Instituto de Ecología UNAM en donde dirige el laboratorio de Genética Ecológica y Evolución. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores y se dedica al estudio de la evolución en acción, analizando tanto la estructura genética como la diferenciación fenotípica. En síntesis, la selección natural y la adaptación. En cuestiones de ecología evolutiva aplicada, analiza la estructura genética de las especies en condiciones naturales y alteradas. Tal es el caso de los estudios sobre el efecto de la fragmentación de la selva tropical en la estructura genética de diversas especies en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, y de especies de manglar a lo largo de las costas de México. En la docencia, a nivel licenciatura, imparte la materia de Evolución, el taller Selección Natural y Adaptación Genética de la Fragmentación del Hábitat y la materia Métodos de Investigación Experimental, mientras que a nivel posgrado imparte la materia Genética Cuantitativa y Ecológica.

farfan@unam.mx

Alberto Ken Oyama Nakagawa es biólogo y maestro en ciencias egresado de la UNAM. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Kyoto, Japón. Es investigador Titular C de tiempo completo de la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, e investigador emérito del Sistema Nacional de Investigadores. Sus áreas de investigación son la ecología molecular y la biología de la conservación. Forma parte del claustro de investigadores del Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica (LANASE). Ha publicado más de 200 artículos de investigación en revistas científicas con arbitraje internacional. Ha sido presidente de la Sociedad Botánica de México A.C. y es miembro fundador de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología, que presidió entre el 2009 y el 2011. Fue el director fundador del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (hoy Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad)-UNAM, director fundador de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia-UNAM, Secretario de Desarrollo Institucional de la UNAM (2015-2021) y actualmente es integrante de la H. Junta de Gobierno de la UNAM.

kenoyama@enesmorelia.unam.mx

Mariana Yólotl Alvarez Añorve es Bióloga y Doctora en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México. Realizó el posdoctorado en la Universidad de Minnesota (USA). Desde el 2013 se incorporó al Sistema Nacional de Investigadores y a la planta académica de la UNAM, en donde ha participado en la creación de dos nuevas Licenciaturas (Licenciatura en Ecología y Licenciatura en Ciencias Agroforestales). Su investigación se centra en la ecología funcional de comunidades tropicales (plantas y animales), con mayor énfasis en los árboles, así como en el estudio de técnicas que permitan caracterizar el estatus funcional de dichas comunidades de forma rápida y a grandes escalas espaciales.

malvarez@enesmerida.unam.mx

Regresar al índice

Cultivo de maíz y frijol con algunas arvenses. Las decoloraciones y manchas en las hojas denotan la actividad de organismos asociados a los holobiontes vegetales. Fotografía: Francisco J. Espinosa García.

Biodiversidad, evolución, holobiontes y redes de interacción biológica en el manejo de agroecosistemas

Francisco Javier Espinosa García
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán

Resumen
El incremento de la biodiversidad en los agroecosistemas se asocia con servicios ecosistémicos: regulación de ciclos biogeoquímicos, conservación del suelo, polinización, provisión de alimento, nutrición de los cultivos, y resistencia a herbívoros y patógenos. La mayoría de los beneficios de la biodiversidad sólo se da en agroecosistemas con holobiontes con redes de interacción complejas. Por eso, la restauración o construcción de agroecosistemas sustentables debe basarse en el entendimiento de la estructura y dinámica de los holobiontes y de los procesos evolutivos (selección artificial y natural) que operan en los agroecosistemas locales. Los factores que afectan a los holobiontes están relacionados con el estatus de domesticación de las especies, la selección natural y artificial continua y las intervenciones humanas sobre el ambiente. La domesticación cambia las interacciones entre los componentes del holobionte cultivado, lo que aumenta la susceptibilidad de los cultivos a ciertas plagas y patógenos, sobre todo si los depredadores o antagonistas de las plagas son eliminados, directa o indirectamente, por uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes sintéticos. La domesticación también puede cambiar la compatibilidad de los cultivos con los mutualistas. El funcionamiento de las redes asociadas a holobiontes varía dependiendo de su complejidad (número de especies que interactúan entre sí y con la planta), la que a su vez es condicionada por el manejo agrícola; los agroecosistemas tradicionales propician redes complejas, mientras que los convencionales propician las simplificadas. Se propone el uso de ingeniería de agroecosistemas para construir o restaurar sistemas agrícolas sustentables basados en holobiontes con redes de interacción biológica complejas ajustadas a cada región.

Palabras clave
agricultura industrial, agricultura tradicional, agroecosistemas sustentables, domesticación de plantas, interacciones bióticas

Introducción
El incremento en la biodiversidad en los agroecosistemas propicia servicios ecosistémicos como la regulación de ciclos biogeoquímicos, conservación del suelo, polinización, provisión de alimento, nutrición de los cultivos, y resistencia a herbívoros y patógenos (Bennet *et al.* 2021). Sin embargo, el aumento de la biodiversidad como estrategia para restaurar agroecosistemas o servicios ecosistémicos no siempre funciona, particularmente cuando se entremezclan cultivos, variedades o especies que no habían coexistido previamente.

La inconsistencia de los efectos del incremento de la biodiversidad puede ser explicada, en parte, porque las especies que se colocaron en un mismo espacio interactuaron antagónicamente entre sí o no establecieron relaciones mutualistas con el cultivo. Las redes de interacción complejas que propician servicios ecosistémicos se estructuran bajo procesos evolutivos como adaptación o coevolución que requieren del paso de muchas generaciones de las especies interactuantes. La pérdida de biodiversidad está directamente relacionada con la pérdida de interacciones, y éstas no se restauran solamente por la adición de especies (Valiente *et al.* 2015). Así, la restauración o construcción de ecosistemas sustentables requiere de la reconstrucción o recuperación de redes de interacción resultantes de procesos evolutivos que seleccionen a las especies y sus variantes que puedan coexistir en esos ecosistemas.

Los holobiontes vegetales son el conjunto de especies simbióticas (incluidas en micro, meso y macrobiotas) asociadas a las plantas (Figura 1). Este grupo de organismos afecta positivamente el desempeño de las plantas y juega un papel importante en la estructuración de los agroecosistemas (Soldan *et al.* 2022), por ejemplo, determinando qué y cuántas especies pueden desarrollarse en el sistema. Entonces, el entendimiento y manejo de los agroecosistemas requiere de la comprensión de las redes de interacciones asociadas a holobiontes de plantas domesticadas y de plantas silvestres que prosperan en agroecosistemas.

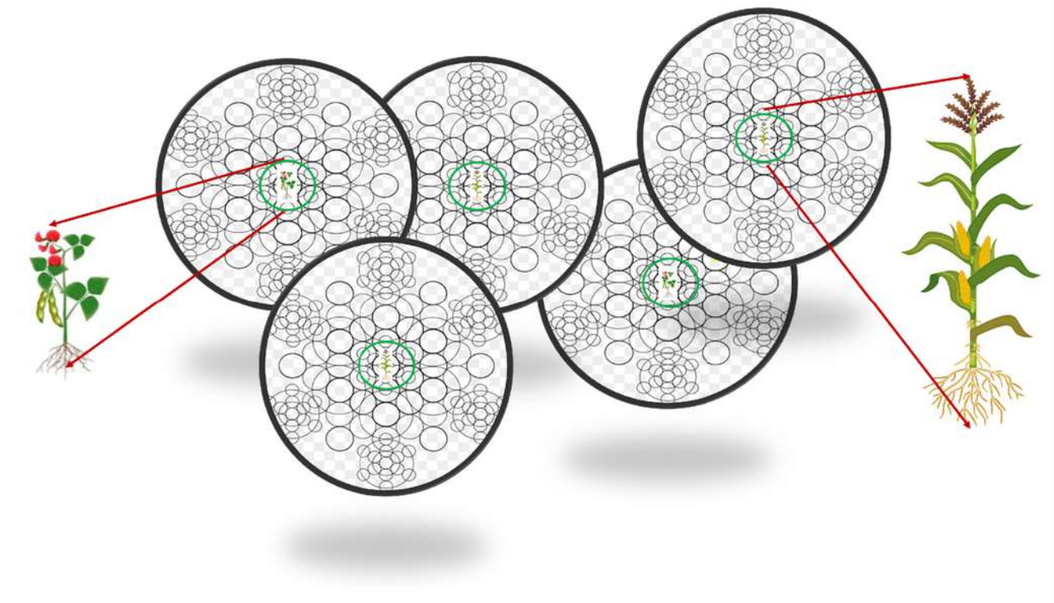


Figura 1. Esquema que ilustra holobiontes de plantas de frijol (a la extrema izquierda) y maíz (a la extrema derecha). Cada círculo grande representa un holobionte de una planta individual (plantas encerradas en círculos en color verde). Los círculos pequeños con contornos delgados que están incluidos o tocados por el los círculos verdes representan especies endosimbióticas, mientras que los círculos pequeños fuera de los verdes representan simbiontes externos encontrados sobre hojas, tallos o raíces. El holobionte de plantas individuales cambia con la especie y el ambiente, idea que aquí se ilustra con cinco círculos grandes. Esquema integrado con ilustraciones de: mariaflaya, istock; ZAQzaq8, depositphotos

Interacciones biológicas y redes de interacciones

Price (1984) asumía que las interacciones biológicas (competencia, herbivoría, parasitismo, patógeno-hospedero, depredación, polinización, micorrizas-plantas, entre otras) no cambiaban en una generación, aunque también podrían evolucionar cambiando en intensidad o naturaleza. En ese modelo, el cambio era unidireccional e irreversible; sin embargo, los cambios evolutivos también pueden ser reversibles, llevar a una nueva interacción o bien una interacción se puede modificar.

La intensidad y naturaleza de las interacciones entre especies pueden depender del contexto en el que se desarrollan. Por ejemplo, la relación mutualista entre micorrizas y plantas puede cambiar a parasitaria si la concentración de fósforo disponible para las plantas es alta. En otros casos, la relación entre el mismo par de especies puede ser de diferente naturaleza e intensidad dependiendo de la composición de especies de herbívoros o competidores que se encuentran en una región (Thompson 2005).

A escala local o regional, la especificidad de los integrantes de las interacciones puede ser estricta y obligada, o bien puede ser variable y con muchas especies. El caso del número de hospederos de los patógenos es similar al de la amplitud de dieta de los herbívoros. Los mutualistas como micorrizas y polinizadores, tienen poca especificidad y la mayoría de las especies pueden interactuar con muchas especies de hospederos, aunque hay diferencias en la efectividad de los mutualistas que dependen del hospedero colonizado.

En resumen, aunque la mayoría de las interacciones conservan su naturaleza en el tiempo y en el espacio, ésta puede cambiar si cambia el contexto ambiental y geográfico en el que se desarrollan las especies interactuantes. El cambio también puede ocurrir a través de las generaciones intensificando el antagonismo o agonismo o llevando a las especies al amensalismo o a la neutralidad. La naturaleza de las interacciones, su dinámica ecológica y evolutiva y la gama de interacciones que puede entablar una especie generan redes de interacción biológica muy complejas que pueden variar en el tiempo y en el espacio. Además, las interacciones son afectadas por la variación intraespecífica de los interactuantes, que a su vez es determinada por la variación del estado nutricional de las plantas y por los metabolitos secundarios que regulan a las interacciones.

Estructura y dinámica de las redes de interacción basadas en holobiontes agrícolas

Los factores que afectan a los holobiontes vegetales están relacionados con el estatus de domesticación de las especies, la selección natural y artificial así como las intervenciones humanas sobre el ambiente. La domesticación cambia el genoma de los cultivos y las interacciones entre los componentes del holobionte cultivado. Muchos de los cambios obtenidos en los procesos de domesticación afectan a las redes de interacción biológicas de los holobiontes, por ejemplo, selección contra los metabolitos secundarios (MS) tóxicos o desagradables para humanos, selección indirecta contra MS constitutivos e inducidos en los órganos vegetales que no son cosechados, cambios en los exudados radiculares y cambios en las emisiones de volátiles o MS que regulan interacciones (Espinosa-García 2022). Todos esos cambios aumentan la susceptibilidad de los cultivos a ciertas plagas y patógenos, sobre todo si los depredadores o antagonistas de las plagas son eliminados por uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes sintéticos. Los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes en el suelo también se ven afectados por MS y enzimas exudadas en la rizósfera.

El funcionamiento de las redes asociadas a holobiontes varía dependiendo de su complejidad (número de especies interactuando entre sí y con la planta), la que a su vez es condicionada por el manejo agrícola aplicado en la gama en la que se encuentran agroecosistemas tradicionales en un extremo y los industriales en el otro.

En los agroecosistemas tradicionales el sistema está ajustado a las condiciones bióticas y abióticas de la región y su diseño y prácticas de manejo dependen del conocimiento de los agricultores, su cultura y condiciones sociales (González Jácome 2022); ahí, la domesticación es un proceso continuo pues las semillas o propágulos producidos se seleccionan y se siembran en el siguiente ciclo agrícola. La variabilidad en los cultivos necesaria para la selección natural y artificial se produce por reproducción sexual y, en las plantas clonales, por mutaciones somáticas, elementos móviles del ADN (transposones), inversiones, deleciones, metilación del ADN (epigenética), expresión diferencial del genoma y la epistasis. Ese manejo durante generaciones de agricultores produce agroecosistemas sustentables con alta biodiversidad y holobiontes con redes de interacción complejas (*i.e.*, que involucran múltiples especies) adaptadas a las condiciones locales.

En contraste, en los agroecosistemas industriales se busca homogeneizar el medio físico para producir monocultivos mediante mecanización, fertilización química y riego cuando es posible. Las especies no cultivadas se tratan de extirpar mediante plaguicidas. En esos sistemas no hay domesticación *in situ*. El fitomejoramiento o la ingeniería genética producen variedades cultivadas aptas para ambientes homogeneizados y dependientes de agroquímicos que favorecen la pérdida de simbiontes importantes en la nutrición y defensa de los cultivos en condiciones diferentes a las de los agroecosistemas industriales (Dumigan *et al.* 2021). Ese manejo reduce la biodiversidad drásticamente y produce holobiontes con redes de interacción pobres en especies y en funcionalidad.

Así, los agroecosistemas tradicionales tienen holobiontes con redes complejas que son más resistentes a plagas y patógenos que las redes simplificadas de los holobiontes de agroecosistemas industriales. Éstas últimas propician carreras armamentistas coevolutivas graves y recurrentes entre el ser humano y sus cultivos así como entre éstos y sus plagas y patógenos.

Implicaciones del manejo basado en holobiontes para contribuir a la sustentabilidad de los agroecosistemas

Considerando que la mayoría de los beneficios de la biodiversidad solo se dan en agroecosistemas con redes de interacción complejas, la restauración o construcción de agroecosistemas sustentables debe basarse en el entendimiento de la estructura y dinámica de los holobiontes y de los procesos evolutivos (selección artificial y natural) que operan en los agroecosistemas locales. La ingeniería de agroecosistemas (definida como el diseño de agroecosistemas basado en técnicas desarrolladas con conocimiento científico y conocimiento empírico) propuesta debe buscar el consenso de los agricultores locales para que adopten o desarrollen tecnologías adecuadas para sus condiciones particulares. Las siguientes recomendaciones están basadas en el limitado y fragmentado conocimiento de la complejidad de las redes de interacción biológica en agroecosistemas y deben de considerarse puntos de partida en la ingeniería de agroecosistemas:

- La restauración de la biodiversidad debe basarse en redes de interacciones funcionales relacionadas con servicios ecosistémicos. Por ejemplo, las variantes de cultivo o especies nuevas compatibles con los holobiontes locales son las que deben de usarse para incrementar la biodiversidad y la complejidad de interacciones bióticas.

- La producción de nuevas variedades por fitomejoramiento debe tener en cuenta los efectos en las especies asociadas al cultivo que son parte del holobionte.

- Ya que la resistencia a plagas y patógenos es multifactorial, la producción de nuevas variantes resistentes debe incorporar varios factores de resistencia y permitir el control biológico.

- Los fitomejoradores e ingenieros genéticos deben de producir numerosas variantes para determinar cuáles de ellas funcionarían en la o las regiones a donde se cultivarían.

- Las semillas o propágulos sembrados localmente deberían de poderse reproducir en el siguiente ciclo agrícola para que operaran procesos de selección natural y artificial.

- Realizar ingeniería de agroecosistemas en conjunto con los productores locales para revertir el deterioro en agroecosistemas minimizando el uso de prácticas o insumos que empobrecen la estructura y funcionalidad de las redes de interacciones bióticas.

- Incrementar el contenido de materia orgánica en suelos empobrecidos para incrementar la diversidad y masa microbiana, lo que aumenta la complejidad de la red de interacciones.

- Ensamblar redes tróficas de biota edáfica y aérea que incluya mutualistas con cultivos antagonistas de plagas y patógenos y especies que influyen positivamente en los ciclos biogeoquímicos.

- Fomentar el incremento de biodiversidad benéfica dentro y entre cultivos, en los suelos, la entomofauna y la flora. Se pueden usar técnicas de inundación de semillas de arvenses benéficas, micorrizas o enemigos naturales.

Consideraciones finales

Para restaurar o recuperar servicios a través de ingeniería de agroecosistemas sustentables basada en holobiontes falta mucha investigación para entender la estructura, función y regulación de las redes de interacción de micro- y macrobiotas asociadas a plantas domesticadas, semidomesticadas y silvestres. Ya que no es viable la transferencia de holobiontes de un agroecosistema a otro, ni tampoco es viable desarrollarlos como ha ocurrido en la agricultura tradicional, la reconstrucción o restauración de las redes de interacción debe basarse en los principios ecológicos y evolutivos que subyacen las redes funcionales en la agricultura tradicional (González Jácome 2022). Mientras no conozcamos a fondo esos principios y las técnicas para aplicarlos localmente, habrá que proceder con un enfoque de manejo adaptativo empírico (Duru *et al.* 2015) usando conocimiento desarrollado localmente y los avances científicos correspondientes.

Agradecimientos

Muchas de las ideas expresadas en este artículo fueron concebidas durante el desarrollo del proyecto DGAPA-PAPIIT-IG200821. Agradezco a los Doctores Miguel Martínez Ramos y Arturo Flores por la invitación a escribir este artículo y su cuidadosa revisión y edición del manuscrito.

Literatura citada

- Bennett EM, *et al*. 2021. Ecosystem services and the resilience of agricultural landscapes. En DA Bohan, AJ Vanbergen, *Advances in Ecological Research*. Londres: Academic Press, 64:1-43.
- Dumigan CR, Muileboom J, Gregory J, Shrestha A, Hewedy OA, & Raizada MN. 2021. Ancient relatives of modern maize from the center of maize domestication and diversification host endophytic bacteria that confer tolerance to nitrogen starvation. *Frontiers in Plant Science*, 12:660673.
- Duru M, Therond O, Martin G, Martin-Clouaire R, Magne MA, Justes, E, *et al.* 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:1259–1281.
- Espinosa-García FJ. 2022. The role of phytochemical diversity in the management of agroecosystems. *Botanical Sciences*, 100:245-262.
- González Jácome A. 2022. *Traditional Mexican Agriculture: A Basis for Sustainable Agroecological Systems.* Boca Ratón, Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Price PW. 1984. *Insect Ecology*, 2nd Ed. Nueva York: John Wiley & Sons
- Soldan R, Fusi M, Preston GM. 2022. Approaching the domesticated plant holobiont from a community evolution perspective. *Microbiology*, 168:001188.
- Thompson JN. 2005. *The geographic mosaic of coevolution*. Chicago: University of Chicago Press.
- Valiente-Banuet A, Aizen MA, Alcántara JM, Arroyo J, Cocucci A, Galetti M, García MB, García D, Gómez JM, Jordano P, Medel R, Navarro L, Obeso JR, Oviedo R, Ramírez N, Rey PJ, Traveset A, Verdú M, Zamora R. 2015. Beyond species loss: The extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology*, 29:299–307.

¿Quién escribe?

Francisco Javier Espinosa-García es Biólogo y Maestro en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Doctor en Biología (Ph.D.) por la Universidad de California en Santa Cruz. Investigador titular del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la UNAM, campus Morelia. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 2. Investiga la ecología química de la defensa de las plantas, agroecología y ecología de malezas y plantas invasoras. Contribuyó a la Estrategia Nacional de Especies Invasoras de México y al análisis de riesgo de las especies de plantas invasoras. Está interesado en entender las interacciones biológicas reguladas por metabolitos secundarios para construir o restaurar agroecosistemas sustentables.

espinosa@iies.unam.mx

Regresar al índice

Vista a una calle central de la Ciudad de México; urbe con más de 9 millones de personas. Fotografía: Mariana Chávez Pesqueira

La evolución de la vida en la jungla urbana

Marc T. J. Johnson[1] y Diego Carmona Moreno Bello[2]

[1] Department of Biology, Center for Urban Environments, Universidad de Toronto, Campus Mississauga, Ontario, Canadá
[2] Departamento de Ecología Tropical, Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Mérida, Yucatán

Resumen

La presente contribución aporta una reseña de estudios dirigidos a entender cómo la urbanización afecta el proceso evolutivo de la vida y por qué el estudio de la evolución en las ciudades es importante. La reseña se basa en los trabajos más relevantes para responder a estas dos cuestiones. Un aspecto notable que es evidente de estos trabajos es la carencia de estudios sobre evolución urbana en los trópicos, la región donde se encuentra la mayor biodiversidad del planeta. En este contexto, impulsar estudios de evolución en ciudades tropicales es todo un reto y un territorio fértil para la investigación.

Palabras clave:

adaptación, deriva génica, evolución urbana, selección natural, sistemas socio-eco-evolutivos

¿La urbanización afecta a la evolución? ¿Por qué es importante estudiar la evolución urbana? Antes de responder a estas preguntas es importante recordar que actualmente vivimos en el *Antropoceno*, una época geológica en donde los humanos tienen una influencia decisiva sobre el estado, la dinámica y el futuro de la Tierra. Acorde a esto, el presente siglo ha sido decretado "el siglo de la ciudad", y es que, por primera vez en la historia de la humanidad, a partir del año 2008, más personas viven en áreas urbanas que en áreas rurales. Por ejemplo, actualmente vive en ciudades 80% de los mexicanos y 55% de la población a nivel mundial y se estima que para 2050 68% de la población mundial habitará el ecosistema urbano (ONU 2019). A la par de estos datos demográficos, la expansión del ambiente urbano crece rápidamente, cubriendo hoy en día 0.5% de la superficie terrestre y se pronostica que para 2050 esta cobertura se triplicará (Liu *et al.* 2020). Es a este ecosistema en crecimiento y expansión al que los organismos no-humanos tendrán que adaptarse.

El estudio del proceso evolutivo en las ciudades apenas comienza. En la década pasada, se contabilizaron 192 estudios de evolución biológica en ambientes urbanos. Los organismos más estudiados fueron: artrópodos (26%), mamíferos (23%), aves (12%) y plantas (12%; Figura 1). Lamentablemente, gran parte de los estudios se realizaron en ciudades de latitudes templadas, principalmente en el hemisferio norte, lo cual limita el entendimiento de cómo responden los organismos al proceso de urbanización a nivel mundial y, en particular, en regiones de alta biodiversidad como son los trópicos.

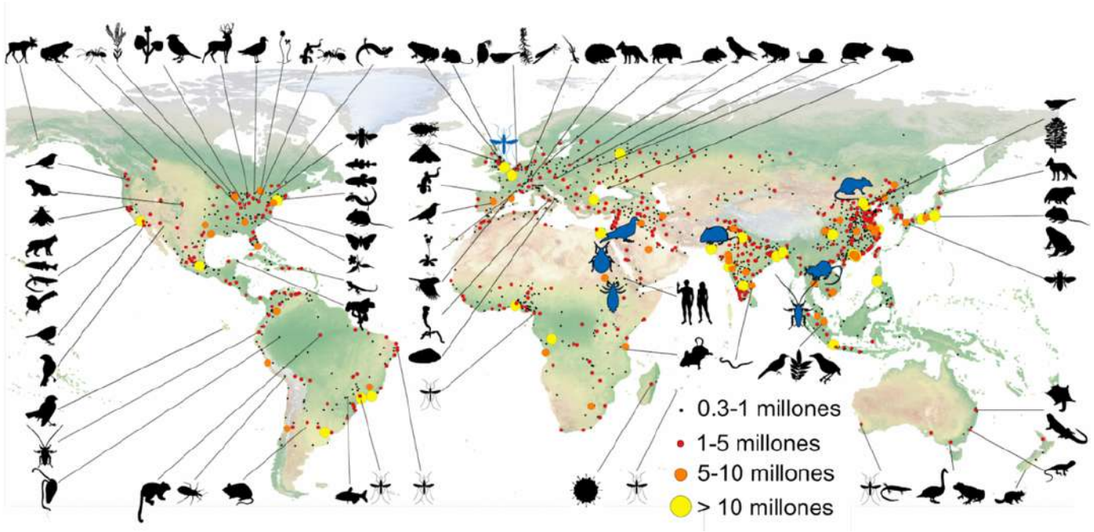


Figura 1. Distribución de estudios de evolución urbana publicados alrededor del mundo. Las siluetas oscuras denotan el organismo estudiado y el tamaño y color de los puntos indican el tamaño poblacional de cada ciudad incluida (sólo ciudades > 300,000 habitantes fueron consideradas). Modificado de Johnson y Munshi-South (2017)

En general, los ecosistemas urbanos tienen paisajes más fragmentados y heterogéneos que los ecosistemas naturales. En las ciudades el aire y los cuerpos de agua están más contaminados, hay mayor estrés hídrico, mayores temperaturas (islas de calor), y suelos más salinos que en los ambientes no urbanos. También, se espera que la complejidad, identidad e intensidad de las interacciones ecológicas presentes sea menor en los ambientes urbanos, aunque no siempre es el caso (Johnson *et al.* 2015). Estos fuertes contrastes paisajísticos y ambientales en los sistemas urbanos pueden promover cambios en las fuerzas evolutivas (mutación, deriva génica, flujo génico y selección natural) que actúan sobre los organismos (Johnson y Munshi-South 2017).

La contaminación urbana puede favorecer incremento en la tasa de mutación, pero existe poca investigación al respecto. En estudios realizados en gaviotas y ratones, se ha encontrado un aumento en las tasas de mutación en la línea germinal (es decir, mutaciones que pasan de padres a hijos) cerca de los centros industriales urbanos (Yauk *et al.* 2000; Somers *et al.* 2004). Actualmente, se está investigando el efecto del ambiente urbano sobre las tasas de mutación en el trébol blanco (*Trifolium repens*). Las redes sociales se están usando para promover la investigación en este tema (Figura 2).

Figura 2. Tweet de Marc Johnson "¿Cómo la contaminación del aire en las ciudades afecta las tasas de mutación y la salud de las plantas? El humilde trébol blanco nos ayudará a responder este misterio".

La **deriva génica** es otra fuerza evolutiva que puede ser afectada por el paisaje urbano hiperfragmentado. El que exista una variante genética (alelo) en una población y no en otra puede deberse a diferencias en cómo opera la selección natural en cada población o simplemente al azar. La probabilidad de que dicha diferencia sea producto de procesos aleatorios se incrementa entre más pequeñas sean las poblaciones. De tal manera, en poblaciones pequeñas y genéticamente aisladas se espera que la deriva génica tendrá mayor relevancia que el proceso de selección natural. Cualquier factor que reduzca el tamaño de las poblaciones (por ejemplo, la fragmentación del hábitat) y el flujo génico (barreras físicas) favorecerán el proceso de deriva génica. Si la deriva génica es dominante sobre la selección, se espera una reducción en la diversidad genética al interior de cada población y un incremento en la diferenciación genética entre poblaciones. Dichos patrones fueron encontrados en las poblaciones del ratón *Peromycus leucopus*, las cuales pierden variación genética y se diferencian genéticamente más entre ellas conforme se incrementa la superficie impermeable del ambiente urbano a lo largo del gradiente urbano-rural en la ciudad de Nueva York (Munshi-South *et al.* 2016; Figura 3).

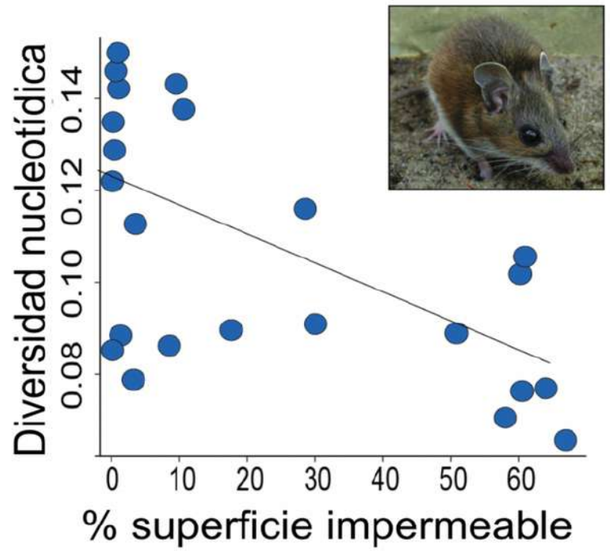


Figura 3. El aumento de la urbanización promueve más superficie impermeable (porcentaje del área de una ciudad que es una barrera para el movimiento de animales) que favorece mayor deriva génica y reduce la diversidad genética (indicado por el porcentaje de diversidad nucleotídica) del ratón *P. leucopus* (modificado de Johnson y Munish-South 2017)

Contrario a la deriva génica, el **flujo génico** (resultante del movimiento de organismos o propágulos entre poblaciones) es una fuerza evolutiva que tiende a reducir las diferencias genéticas entre poblaciones. Por lo tanto, en ausencia de flujo génico aumenta la probabilidad de diferenciación genética entre poblaciones. En los paisajes urbanos, la gran fragmentación del hábitat produce que la distancia entre las poblaciones aumente (*e.g.*, entre poblaciones que habitan diferentes parques de una ciudad) y la infraestructura física (*e.g.*, calles) de la ciudad funcionan como barrera al movimiento de organismos entre las poblaciones. Así, la reducción del flujo génico puede favorecer la diferenciación genética, aunque las poblaciones sean grandes y libres del riesgo de deriva génica. El caso de la salamandra *Plethodon cinereus*, que habita la ciudad de Montreal, ilustra esta situación. Debido a la reducción en el flujo génico, las poblaciones urbanas de este anfibio son genéticamente más disímiles entre sí que las poblaciones que habitan áreas rurales donde el flujo génico es mayor (Noël y Lapointe 2010).

Por último, debido al fuerte contraste ambiental que existe entre las ciudades y las áreas naturales circundantes, se espera que la **selección natural** favorezca la evolución de fenotipos distintos en cada ambiente. Un ejemplo clásico de este fenómeno es el melanismo industrial exhibido por la polilla *Biston betularia* (Kettlewell 1958). En las ciudades contaminadas, donde abundaban superficies cubiertas por hollín, las polillas obscuras tenían mayor probabilidad de escapar a sus depredadores que las polillas de color claro, mientras que lo contrario ocurría en ambientes naturales donde abundaban superficies claras. Otro ejemplo es el de la lagartija *Anolis cristatellus*. Las lagartijas que viven en las ciudades tienen extremidades que les permiten mejor agarre y tracción que aquellas que viven en ambientes naturales, facilitando el desplazamiento en superficies urbanas que son lisas (tuberías, banquetas, paredes) y así huir de sus depredadores (Winchell *et al.* 2016). Un ejemplo más es el del trébol blanco (*Trifolium repens*) que muestra que la urbanización puede afectar la evolución adaptativa de la química defensiva de esta planta, en particular la producción de ácido cianhídrico (HCN; Santangelo *et al.* 2022). Un equipo de 287 investigadores, liderado por Marc Johnson, impulsó el proyecto "Global Urban Evolution (GLUE)" para evaluar en diferentes ciudades qué tan predecible es la respuesta adaptativa de defensa química del trébol en el ambiente urbano, es decir, se busca detectar patrones de evolución paralela. En 47% de las 160 ciudades analizadas se encontraron clinas adaptativas en la producción de ácido cianhídrico (defensa antiherbivoría) en *T. repens* a lo largo del gradiente urbano-rural, confirmando la existencia de evolución paralela (Santangelo *et al.* 2022; Figura 4) y que la herbivoría y la sequía son los agentes selectivos responsables. Este es el experimento más grande a nivel global hasta ahora realizado, con más de 110 mil tréboles analizados provenientes de más de seis mil poblaciones en 160 ciudades de 26 países de los cinco continentes.

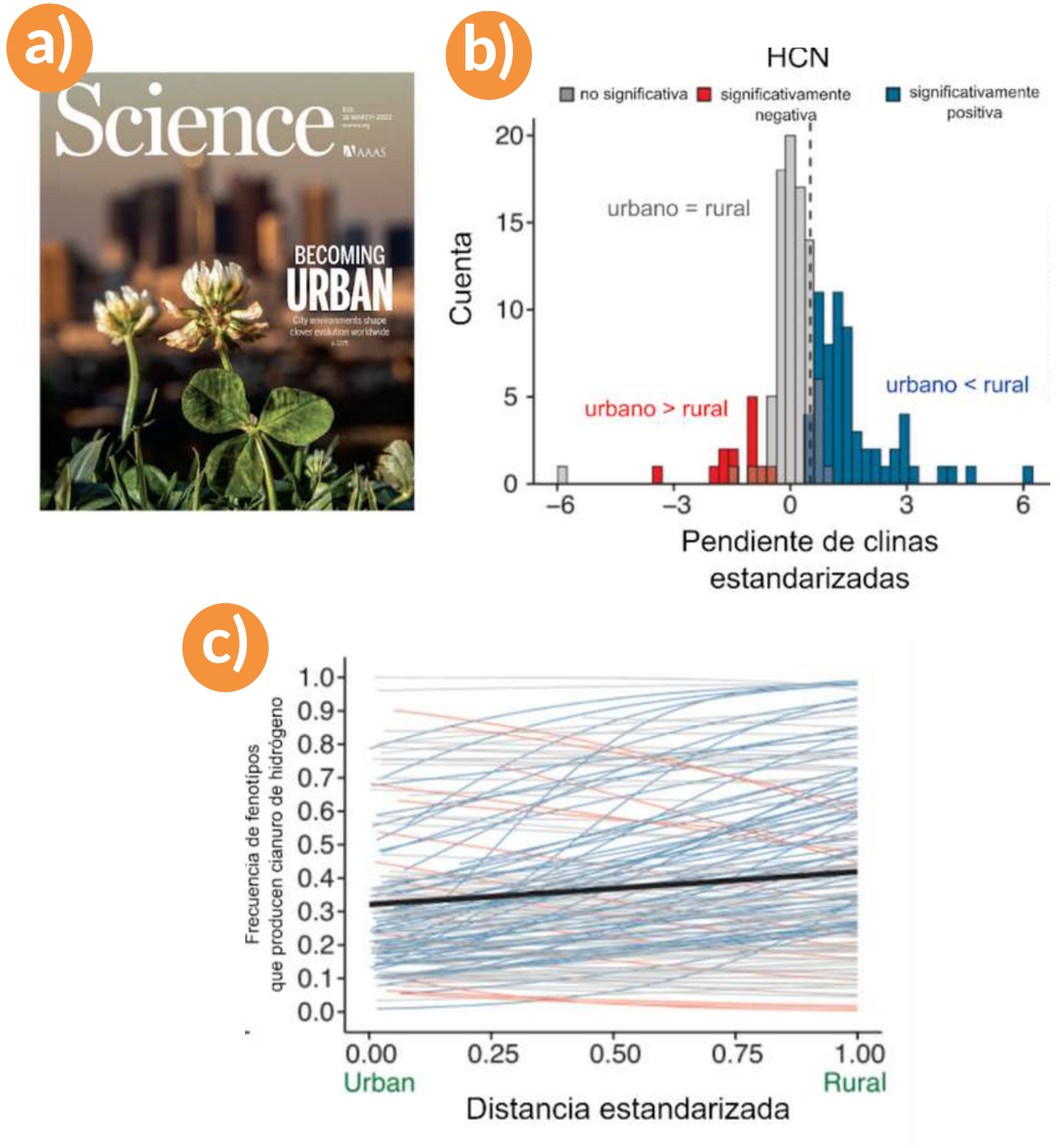


Figura 4. a) Primera publicación derivada del proyecto GLUE. b) Histograma de pendientes que muestra la relación entre la producción de HCN en *T. repens* y la distancia de las poblaciones al centro de la ciudad. c) Relación entre la producción del HCN y la distancia de las poblaciones al centro de la ciudad. Color azul y rojo denotan pendientes significativamente positivas y negativas, respectivamente. Color gris indica pendientes no significativas; la línea negra representa el promedio de todas las trayectorias. Modificado de Santangelo *et al.* (2022)

Con todos los ejemplos expuestos puede concluirse que no hay duda de que la urbanización afecta el proceso evolutivo (adaptativo o no). Ahora, para responder la pregunta ¿por qué es importante el estudio de la evolución urbana?, podemos dar cuatro justificaciones: 1) las ciudades representan el mejor sistema experimental de todos los tiempos para estudiar evolución a una escala mundial, 2) la evolución urbana tiene implicaciones para la conservación y la estabilidad de comunidades bióticas y ecosistemas, 3) la evolución urbana puede influir en la salud humana y 4) provee una oportunidad increíble para explicar y divulgar el proceso evolutivo a la sociedad.

Para concluir, se pueden sugerir cuatro líneas de investigación para el futuro:

- Investigar el efecto que tiene el ambiente urbano en la generación de mutaciones, la prevalencia de éstas y sus efectos en la salud humana.

- Investigar las interrelaciones y dinámicas sociales, ecológicas y evolutivas (enfoque socio-eco-evo; Des Roches *et al.* 2021; Figura 5) que afectan la evolución en las ciudades. Por ejemplo, en ciudades de Estados Unidos los patrones de racismo sistémico favorecen la baja deriva génica en vecindarios con gente blanca (Schmidt y Garroway 2022). De igual manera, la opresión racial y el clasismo en ciudades favorecen dinámicas socio-eco-evolutivas que afectan la salud humana de maneras contrastantes (Des Roches *et al.* 2021).

- Implementar conocimientos socio-eco-evo en beneficio de la conservación, de la salud ecosistémica y del ser humano. Es posible la planeación urbana con perspectiva socio-eco-evo basada en cuatro puntos: *preservar* espacios "naturales" existentes, *restaurar* ecosistemas degradados, *crear* nuevos espacios "naturales" cuando sea posible y *conectar* espacios "naturales" (estrategia llamada PRCC). Tal estrategia promovería la conservación de poblaciones, comunidades y ecosistemas con organismos nativos, y podría favorecer el potencial adaptativo de las poblaciones nativas. Todo esto en conjunto generaría bienestar para el ser humano (Des Roches *et al.* 2021).

- Impulsar la investigación de las dinámicas socio-eco-evo en ciudades encontradas en los trópicos. Hasta ahora existe un gran sesgo por estudiar la evolución urbana en ciudades de países en el hemisferio norte (regiones templadas-frías). Por lo que es urgente estudiar estas dinámicas en ciudades tropicales que, en general, se encuentran en las regiones de mayor biodiversidad del planeta y en países que cuentan con procesos y patrones sociales diferentes a los del norte global (Figura 5a). Los estudios en los trópicos pueden catalizar la incorporación del pensamiento evolutivo en el desarrollo de las ciudades del futuro (Figura 5f), contribuyendo a la conservación de la biodiversidad (Figura 5e) y a los beneficios que ésta tiene en la salud pública de los habitantes de áreas urbanas (Figura 5a).

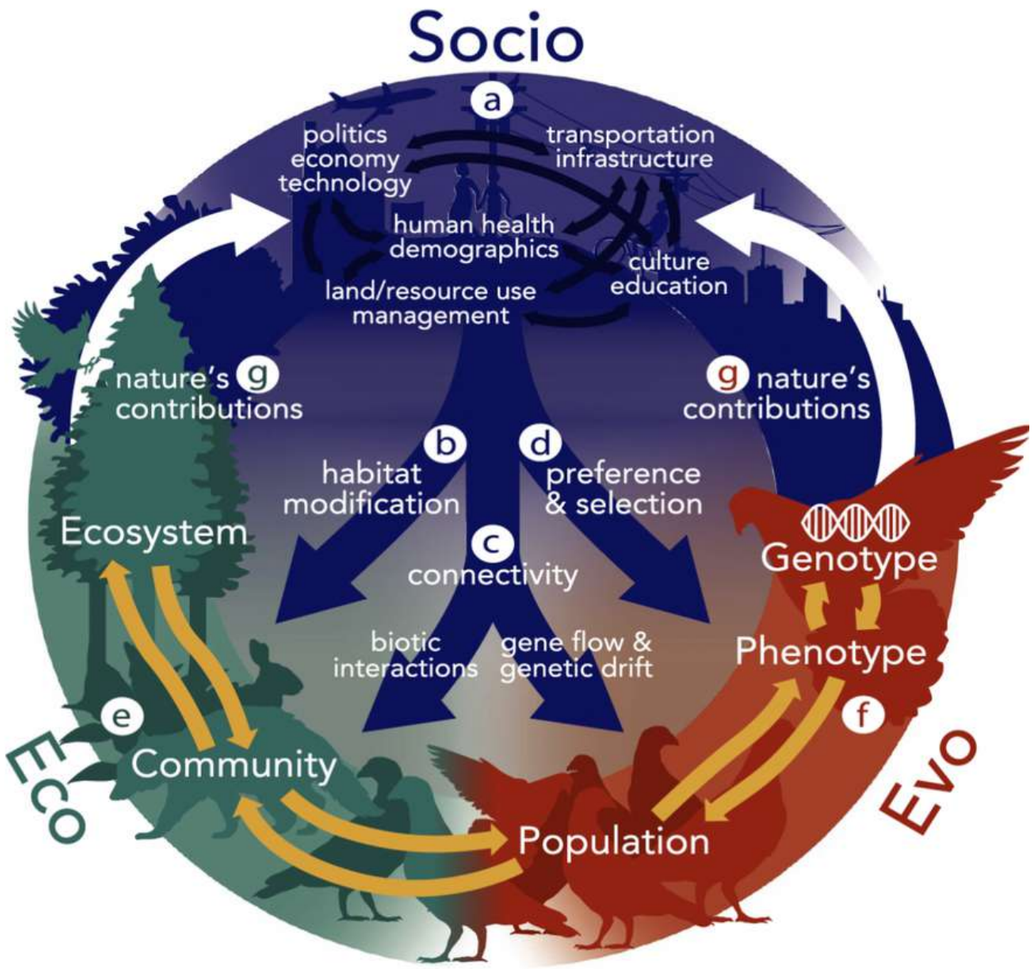


Figura 5. Dinámica detallada de interacciones entre los niveles social (a) ecológico (e) y evolutivo (f), tanto en patrones como procesos en el sistema urbano. Los factores sociales pueden afectar la ecología por modificación del hábitat (b), la ecología de las interacciones bióticas y la evolución (deriva y flujo génico) al imponer barreras que afectan la conectividad entre hábitats (c), y la selección natural (d). Tanto la ecología (e) como la evolución (f) están ligadas por circuitos de retroalimentación que ocurren a nivel ecosistémico, comunitario, poblacional, fenotípico y genotípico. Estos niveles a su vez puede afectar al nivel social (g) aportando servicios y beneficios ecosistémicos. Figura tomada de Des Roches *et al.* (2021).

Agradecimientos

Los autores agradecen a SCME por haber invitado al Dr. Marc Johnson a dar una plática magistral en el VIII congreso de la SCME realizado en Oaxaca en mayo de 2022, y favorecer e impulsar el desarrollo de la Evolución Urbana en nuestro país. Por otro lado, DCMB agradece profundamente la disposición del Dr. Johnson por compartir su presentación y hacer las mejoras pertinentes al escrito y al proyecto CONACyT de Ciencia de Frontera número 568482.

Literatura citada

- Des Roches S, Brans KI, Lambert MR, Rivkin LR, Savage AM, Schell CJ, *et al*. 2021. Socio-eco-evolutionary dynamics in cities. *Evolutionary Applications*, 14:248-267.

- Johnson MTJ, Munshi-South J. 2017. Evolution of life in urban environments. *Science*, 358:eaam8327

- Johnson MT, Thompson KA, y Saini HS. 2015. Plant evolution in the urban jungle. *American Journal of Botany*, 102:1951-1953.

- Kettlewell HBD. 1958. A survey of the frequencies of *Biston betularia* (L.) (Lep.) and its melanic forms in Great Britain. *Heredity*, 12:51-72.

- Liu X, Huang Y, Xu X, Li X, Li X, Ciais P, Lin P, Gong K, Ziegler A D, Chen A, Gong P, Chen J, Hu G, Chen Y, Wang S, Wu Q, Huang K, Estes L, y Zeng Z. 2020. High-spatiotemporal-resolution mapping of global urban change from 1985 to 2015. *Nature Sustainability*, 3:564–570.

- Munshi-South J, Zolnik CP, y Harris SE. 2016. Population genomics of the Anthropocene: Urbanization is negatively associated with genome-wide variation in white-footed mouse populations. *Evolutionary applications*, 9:546-564.

- Noël S, Lapointe FJ. 2010. Urban conservation genetics: study of a terrestrial salamander in the city. *Biological Conservation*, 143:2823-2831.

- Santangelo, JS, Ness RW, Cohan B, Fitzpatrick CR, Innes, SG, Koch S, ... y Johnson, MTJ. (2022). Global urban environmental change drives adaptation in white clover. *Science*, 375:1275-1281.

- Schmidt C, Garroway C. 2022. Systemic racism alters wildlife genetic diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119:e2102860119.

- Somers CM, McCarry BE, Malek F, Quinn JS. 2004. Reduction of particulate air pollution lowers the risk of heritable mutations in mice. *Science*, 304:1008-1010.

- Winchell KM, Reynolds RG, Prado-Irwin SR, Puente-Rolón AR, Revell LJ. 2016. Phenotypic shifts in urban areas in the tropical lizard *Anolis cristatellus*. *Evolution*, 70:1009-1022.

- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.

- Yauk CL, Fox GA, McCarry BE, Quinn JS. 2000. Induced minisatellite germline mutations in herring gulls (*Larus argentatus*) living near steel mills. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 452:211-218.

¿Quién escribe?

Marc Johnson es el líder del laboratorio evo-eco lab en la Universidad de Toronto (campus Missisauga) y ha publicado decenas de artículos en temas que incluyen ecología y evolución de defensas en plantas, genética de comunidades, y la evolución de sistemas reproductivos. Ahora, ha volcado su interés por estudiar la respuesta evolutiva de los organismos al ambiente urbano. Cada ciudad la ve como una réplica que se puede usar para estudiar qué tan predecible es la respuesta evolutiva, y así desde esta óptica el gran número de ciudades que existen en nuestro planeta resulta ser el más grande experimento a escala global que nos permite estudiar en diferentes latitudes el proceso de evolución biológica ante el surgimiento de un nuevo ecosistema: las ciudades. Ahora es un líder reconocido en Evolución Urbana y el fundador del Centro para Ambientes Urbanos en la Universidad de Toronto (https://www.utm.utoronto.ca/cue/welcome).

marc.johnson@utoronto.ca

Diego Carmona Moreno Bello es actualmente beneficiario de una Cátedra CONACYT en el Departamento de Ecología Tropical en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán. Se enfoca en el estudio de la evolución de interacciones bióticas, utilizando aproximaciones de genética cuantitativa, meta-análisis, y estudios comparativos de evolución molecular de defensas utilizando aproximaciones genómicas. Realizó su postdoctorado en el Laboratorio del Dr. Johnson pero con un proyecto ajeno a la Evolución Urbana. Llegando a México después de la estancia postdoctoral y notando la grandes deficiencias que existen en nuestro país y en regiones tropicales, está impulsando el estudio de esta área de investigación utilizando la planta *Ruellia nudiflora* (Acanthaceae). Actualmente, es responsable del proyecto "El efecto de la urbanización en la ecología y evolución de interacciones mediadas por plantas" donde combina aproximaciones experimentales de genética cuantitativa con genómica del paisaje para detectar patrones de divergencia genética y de adaptación local a ambientes urbanos, y determinar la importancia de las interacciones bióticas en la adaptación a las ciudades tropicales de la península de Yucatán, una región que enfrentará un rápido proceso de urbanización.

diego.carmona@correo.uady.mx

BOLETÍN de la SCME

Regresar al índice

El Ciclo Milpa-Jardín Forestal Mesoamericano muestra una alianza con la naturaleza en todas sus fases de campo abierto a sucesión selectiva dentro el ambiente de selva madura. Fotografía: Macduff Everton

Bioculturalidad y resiliencia socioecológica

Quetzalcóatl Orozco Ramírez [1], Juliana Merçon [2], Anabel Ford [3], Bia'ni Madsa' Juárez López [4], Elisabeth Huber-Sannwald [5], Benjamín Ortiz Espejel [6]

[1] Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Oaxaca, Oaxaca
[2] Instituto de Investigaciones en Educación, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz
[3] Centro de Investigaciones Mesoamericanas, Universidad de California, Santa Barbara, California, E.U.A.
[4] Fondo Guardianes de la Tierra, Cultural Survival, Oaxaca, Oaxaca
[5] División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, San Luis Potosí, San Luis Potosí
[6] Centro de Investigación en Biodiversidad Alimentación y Cambio Climático, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla

Resumen

A raíz de los problemas y retos socioambientales cada vez más complejos, en los últimos años hemos visto el surgimiento de nuevos paradigmas que tratan de juntar diversas disciplinas y el conocimiento que las comunidades humanas tienen sobre los recursos para el estudio de la interrelación sociedad-naturaleza. Plantean marcos conceptuales que permiten entender de una manera más integral dicha interrelación con sus múltiples procesos y fenómenos complejos. Los paradigmas asociados a los conceptos de bioculturalidad y resiliencia socioecológica son destacables, no solo porque proponen una forma diferente de generar conocimientos, sino también porque los conocimientos resultantes benefician simultáneamente a la sociedad en general y en particular a las comunidades que los crean promoviendo la protección de los ecosistemas. Entendemos por bioculturalidad a la relación entre la vida y la cultura. Esta relación va más allá de la coincidencia geográfica y la relación entre la biodiversidad y la diversidad cultural. Nos lleva a comprender las relaciones profundas entre las sociedades y la naturaleza como procesos de coevolución que resultan en diversidad no solo biológica sino de conocimientos y cosmovisiones. La resiliencia socioecológica es un concepto que integra la noción de resiliencia de los ecosistemas aplicada a los socioecosistemas, ya que no se puede separar la acción humana de los procesos ecológicos, como nos recuerda el concepto de Antropoceno, usado para referirnos a la era que estamos viviendo y que está siendo determinada por la huella de la acción humana en el planeta.

Palabras clave:

autodeterminación, biodiversidad, conocimiento local, diversidad cultural, pueblos indígenas

Introducción

Los conceptos bioculturalidad, diversidad biocultural y patrimonio biocultural hacen referencia a la interacción comunidades humanas-naturaleza, haciendo énfasis en el conocimiento que las comunidades indígenas tienen sobre los recursos locales. Estos conceptos nacen de la integración del conocimiento de la diversidad biológica del planeta y del conocimiento de la diversidad cultural y lingüística de la humanidad. Por lo tanto, integra enfoques de las ciencias biológicas y sociales. Existen en el planeta territorios que tienen una alta diversidad biológica y cultural, que por lo general coinciden porque interactúan y se moldean mutuamente. El patrimonio biocultural incluye a los recursos biológicos, desde los genes hasta los sistemas de manejo y paisajes producto del conocimiento local y las ideas y conceptos sobre la naturaleza y la cosmovisión de los grupos culturales (Toledo *et al*. 2019).

La resiliencia socioecológica hace referencia a que la conexión entre sistemas ecológicos y sociales es tan estrecha que estos no se pueden disociar, como lo indica el concepto de socioecosistema. Esta conexión permite el surgimiento de instituciones locales basadas en el conocimiento de los procesos naturales y de las interrelaciones socioecológicas para hacer frente a los cambios ambientales que afectan a las comunidades (Berkes y Folke 1998).

Experiencias sobre bioculturalidad y resiliencia socioecológica

Los pueblos indígenas en todos sus territorios se encuentran actualmente en un forzado proceso de experimentación, debido a la desestabilización ambiental y social exacerbada por el cambio climático. Ya que los conocimientos bioculturales generados y transmitidos en complejos procesos generacionales no coinciden más con los patrones ambientales, las comunidades han tenido que acelerar la experimentación local. Cambiar el tiempo de

siembra y cosecha, intercambiar semillas con otras regiones, reducir las áreas de cultivo, retomar los conocimientos de lectura del cielo y las lluvias, son algunas de las acciones desde la visión del conocimiento biocultural. Algunas comunidades están incorporando otros conocimientos y técnicas para enfrentar el cambio climático, como la captación de agua, el uso de energías alternativas y de fertilizantes orgánicos. Además, como una de las acciones más importantes para el cuidado de la diversidad biológica y cultural, las comunidades indígenas sostienen constantes procesos de defensa del territorio (Cultural Survival 2022) contra las políticas de estado que buscan erradicar la diversidad de sus culturas y homogeneizar los territorios. A pesar de los impactos irreparables, existen múltiples procesos liderados por pueblos indígenas que generan beneficios más allá de sus territorios (Cultural Survival 2021).

Desde diversas investigaciones y prácticas profesionales se ha llegado a conclusiones o percepciones similares sobre la importancia del conocimiento ambiental local y su vínculo con la biodiversidad y el territorio. Anabel Ford, autora de este artículo, lo explica de una manera muy didáctica:

> "Mi carrera comenzó en arqueología como ecologista cultural centrada en una especie: el *Homo sapiens*. Estaba muy consciente de la importancia de las influencias ambientales en las adaptaciones humanas, busqué explicar los antiguos patrones de asentamiento en la selva maya. Tomando la ciencia en serio, tracé mi trayectoria en la década de 1970 para mapear las evidencias del uso de la tierra maya. Viviendo en la selva maya, hice inventario de los "montículos" y clasifiqué el medio ambiente, dando por sentado que mi equipo identificaría los árboles locales, alimentaría a las mulas, descubriría viviendas, encontraría agua y mantendría bien al equipo. Dependía de la selva maya en todo lo que necesitaba como agua, techo, alimento y medicina, pero no comprendía el impacto. Más tarde, buscando agua, aprendiendo sobre la caza o regresando a un sitio, aprendí la sutileza de las observaciones, la relevancia de las señales ecológicas y la forma de orientarse en el bosque. ¡Habilidades asombrosas, fui testigo del dominio de los ritmos de la naturaleza acumulados a lo largo de las huellas del tiempo! El patrimonio intangible mesoamericano. Ésta fue una pista significativa de la persistencia sostenida de los antiguos mayas y el legado de la resiliencia que hizo de la selva maya un jardín. Trabajando con *maestros jardineros forestales*, me he familiarizado con las destrezas, prácticas y estrategias que se utilizan para bajar la temperatura, aumentar la fertilidad del suelo, reducir la erosión, conservar el agua y mantener la biodiversidad (Topsey *et al*. 2020). Éstas son las estrategias y prácticas en la base del jardín de la selva maya y el ciclo de la milpa que se están dejando de lado hoy en día. Ellos tienen el secreto de la conservación y la prosperidad cultural. Debemos seguir las huellas de los ancestros bajo el dosel con los pies sobre la fresca tierra."

Retos y Acciones

El concepto biocultural ofrece un giro epistémico que caracterizará al siglo XXI. A diferencia de las vertientes de la investigación científica de mediados del siglo pasado que basaron su apuesta en la comprensión racional de los fenómenos de la realidad, podemos comenzar a vislumbrar lo que se llama un giro afectivo, cuyo tema central es la justicia ambiental. Este giro proviene de una larga tradición filosófica que se alimenta en las pasiones, las emociones, los estados de ánimo y los sentimientos humanos. Algunos de los acercamientos sobre los que se basa este giro epistémico son las recientes teorías de la subjetividad, las teorías en torno al cuerpo, la biopolítica, la teoría feminista, las neurociencias contemporáneas y el papel de las emociones en la geografía humana y los estudios urbanos y ambientales (Bru 2016).

Sostenemos que la biocultura como concepto orientador para la práctica de resiliencia socioecológica está surgiendo de estudios interdisciplinarios y transdisciplinarios que destacan el rol cognitivo de la emoción como tema clave que apunta a una renovación de nuestra comprensión de determinados fenómenos sociales (Figura 1).

Figura 1. Reunión de organizaciones civiles para discutir sobre la conservación de semillas nativas. Fotografía: Quetzalcóatl Orozco

Por lo anterior, resulta de gran importancia el acompañamiento de instituciones con conciencia ecológica y social, capaces de establecer puentes de diálogo intercultural a fin de promover la co-generación de conocimiento pertinente y útil. Ello supone que dichas instituciones se involucren desde una mirada comprometida afectivamente y autocrítica de sus propias bases educativas, y que el concepto de biocultura sea revisado constantemente. De esta forma, se podría hablar de biocultura y resiliencia socioecológica no como un concepto académico estático ni un objeto de secuestro mediático, sino como una propuesta que apoye los procesos de empoderamiento colectivo, civil, anticapitalistas, anticolonialistas y antipatriarcales, como ciencia y tecnología descolonizada y desenajenada.

Esta potencia afectiva transformadora que caracteriza al paradigma biocultural depende de nuestra capacidad sensible y empática para comprender y alterar relaciones de poder presentes en diferentes contextos y escalas. Tres acciones clave contribuyen a reconfigurar estas relaciones y a fortalecer los procesos bioculturales (Merçon 2019):

1.Visibilizar y fomentar la diversidad biocultural

Valorar la diversidad biocultural en la academia, la sociedad civil y la política pública genera implicaciones en la comprensión, las decisiones y las acciones a diferentes escalas. Muchos sistemas bioculturales no están completamente condicionados por la cultura hegemónica y son particularmente importantes dada su contribución crucial a la biodiversidad, el bienestar humano y la resiliencia socioecológica. Las manifestaciones bioculturales en contextos urbanos y la extensión del concepto a grupos no indígenas amplían el espectro de diversidad y conducen a nuevos conocimientos y aplicaciones. En cualquier caso, una atención más amplia a las experiencias del Sur Global es clave para revelar cómo los sistemas bioculturales se encuentran actualmente amenazados, denunciar los avances a menudo ilegales sobre dichos territorios y culturas, y emprender acciones para defenderlos.

2. Construir procesos colaborativos

La generación de conocimiento, la toma de decisiones y la acción en torno a los sistemas bioculturales cada vez más involucran la participación de miembros de comunidades indígenas y locales a través de procesos de investigación-acción y otras formas de producción colaborativa de conocimientos. Esto podría conducir a un mayor reconocimiento y protección de los sistemas bioculturales e influir en las políticas y prácticas sostenibles más allá de lo local. Para habilitar este potencial y permitir una colaboración real en contextos de asimetrías de poder, es importante que el estudio y el compromiso con diversos sistemas de conocimiento biocultural tengan en cuenta una serie de consideraciones ético-políticas y epistemológicas, como por ejemplo, el uso de protocolos bioculturales, la implementación del consentimiento libre, previo e informado, el respeto a la autodeterminación de los pueblos, el apoyo a iniciativas y movimientos liderados por indígenas.

3. Defender el derecho a la autodeterminación

Las perspectivas bioculturales aclaran cómo los sistemas locales de gobernanza contribuyen a la conservación de la naturaleza, brindando elementos para la legitimación de tales instituciones en las luchas de los pueblos indígenas por la autodeterminación (Brondizio y Tourneau 2016). Como los sistemas de gobernanza de pueblos originarios y comunidades equiparables son parte de los estados nacionales, sus prácticas de gestión sostenible son más propensas a florecer dentro de marcos legales que reconocen el derecho de los pueblos a determinar sus propias formas de producción económica, social y cultural (Figura 2). Alcanzar una coexistencia pacífica y constructiva de diferentes sistemas de gobernanza dentro de los territorios nacionales exige, en muchos casos, la descolonización del sistema jurídico, la reinvención de la democracia y del Estado (Santos 2007, Martínez Esponda 2020).

Ante los múltiples desafíos socioecológicos globales, es imperativo que los derechos de los pueblos cuidadores de paisajes bioculturales sean plenamente respetados. Co-crear conocimientos, políticas y acciones en su defensa es un medio importante de promover la justicia social, proteger la biodiversidad y fomentar la resiliencia socioecológica que nos beneficia a todas y todos.

Figura 2. Mujer rarámuri en su maguechic (milpa) de Bacadehuachi, Chihuahua, Fotografía: Ricardo María Garibay.

Literatura citada

- Berkes F, Folke C. 1998. Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. En Berkes F, Folke C, eds. *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge: University Press. 1–25

- Brondizio ES, Tourneau FML. 2016. Environmental governance for all. *Science*, 352:1272–1273.

- Bru G. 2016. Subjetividad, biopolítica y cuerpo. *Revista Latinoamericana de Estudios sobre Cuerpos, Emociones y Sociedad* 8:37-51.

- Cultural Survival. 2021. El Fondo Guardianes de la Tierra apoya a comunidades Indígenas. https://www.culturalsurvival.org/news/el-fondo-guardianes-de-la-tierra-apoya-comunidades-indigenas

- Cultural Survival. 2022. En memoria a los 33 defensores de Derechos Indígenas asesinados en 2021 en América Latina. https://www.culturalsurvival.org/news/en-memoria-los-33-defensores-de-derechos-indigenas-asesinados-en-2021-en-america-latina

- Martínez Esponda FX. 2020. Otro México es posible: diálogos para la construcción del Estado pluricultural. Centro Mexicano de Derecho Ambiental, México.

- Merçon J. 2019. The last biocultural frontiers: recognition, engagement and self-determination for the protection of cultural and biological diversity. En Wyborn C, Kalas N, Rust N, eds. *Seeds of change: provocations for a new research agenda* Biodiversity Revisited Symposium Conference Proceedings, Vienna, Austria. 11-13 https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22170.59848/3.

- Santos B de S. 2007. La Reinvención del Estado y el Estado Plurinacional. Cochabamba: CENDA, CEJIS, CEDIB.

- Toledo VM, Barrera-Bassols N, Boege E. 2019. ¿Qué es la diversidad biocultural? Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Topsey CE, Ford A, Horn S. 2020. Different Ways of Knowing and a Different Way of Being: On a Path to Reawakening Legacy of the Maya Forest. *Heritage* 3:493-510.

¿Quién escribe?

Quetzalcóatl Orozco Ramírez es investigador del Instituto de Geografía de la UNAM. Realizó un posdoctorado en el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental en la UNAM. Tiene un doctorado en la Universidad de California, Davis (2009-2014), en Geografía. Su investigación se ha centrado en la interacción entre la cultura y la diversidad del maíz nativo, así como en los procesos sociales y ambientales involucrados en los cambios y la conservación de la agrobiodiversidad. Sus temas de interés son la agricultura tradicional, la planeación territorial, la conservación de la biodiversidad, el conocimiento, manejo y la conservación *in situ* de recursos genéticos para la agricultura.

qorozco@geografia.unam.mx

Juliana Merçon es investigadora en el Instituto de Investigaciones en Educación de la Universidad Veracruzana. Es doctora en filosofía por la Universidad de Queensland, doctora en educación por la Universidad del Estado de Rio de Janeiro, maestra en psicología por la Universidad de Brasília, y experta en agroecología por la Universidad Internacional de Andalucía. Es coordinadora de la maestría en Educación para la Interculturalidad y la Sustentabilidad (UV), tutora en el doctorado en Ecología Tropical (UV), en el posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad (UNAM) y en el doctorado de la Universidad Campesina Indígena en Red (UCIRed).

jmercon@uv.mx

Anabel Ford es arqueóloga y antropóloga, especialista de las tierras bajas mayas, desde hace más de cuatro décadas. A partir de 1986, es la directora del Centro de Investigaciones Mesoamericanas (MARC), que forma parte del Instituto de Investigación Social, Conductual y Económica de la Universidad de California en Santa Bárbara. Entre los temas que investiga se encuentran: Relaciones entre el ser humano y el medio ambiente; Sociedades complejas y economías preindustriales; Estrategias para la conservación de la selva y el patrimonio cultural; Conocimiento tradicional maya; sostenibilidad cambio climático y escases de los recursos naturales.

ford@ucsb.edu

Bia'ni Madsa' Juárez López es Ayuuk y Binizá del istmo oaxaqueño. Bióloga con una maestría en ecología tropical. Ha realizado investigación interdisciplinaria sobre la relación entre la organización comunitaria, la conservación de los árboles y producción de café bajo sombra en su comunidad Ayuuk. Ha participado en proyectos de mapeo participativo. Actualmente es la gerente del Fondo Guardianes de la Tierra de la organización Cultural Survival, donde trabaja con comunidades indígenas de varios países en proyectos relacionados con sus territorios y cultura, así mismo participa y organiza conferencias sobre cambio climático, soberanía alimentaria y conocimiento tradicional. Colabora en el COLMIX (colectivo Mixe) generando información sobre y para la región Mixe.

biani.madsa@cs.org

Elisabeth Huber-Sannwald es investigadora austriaca especializada en la ecología de ecosistemas. Es investigadora y jefa de la División de Ciencias Ambientales en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), San Luis Potosí. Obtuvo su maestría en Biología y Geobotánica de la Universidad de Innsbruck, Austria. En 1996, obtuvo su doctorado en Ecología de Agostaderos de la Universidad Estatal de Utah, Estados Unidos. Estudia la integridad de los servicios ecosistémicos como base de la resiliencia de sistemas socio-ecológicos en zonas áridas y para el desarrollo sostenible. Su investigación es inter y transdisciplinaria e interinstitucional a nivel nacional e internacional.

ehs@ipicyt.edu.mx

Benjamín Ortiz Espejel es ingeniero agrónomo por la UAM Xochimilco. Maestro en antropología social por el CIESAS y doctor por el INECOL. Asociado del programa internacional Leadership for Environment and Development por El Colegio de México. Desde 1982 realiza investigación sobre el conocimiento, percepción y apropiación de los ecosistemas por parte de grupos sociales en México. Es autor de más de 120 artículos y capítulos de libros científicos y de divulgación y autor y /o coautor de 11 libros nacionales e internacionales sobre problemáticas de medio ambientales, educación superior, sustentabilidad, complejidad e interdisciplina. Es coordinador de la Red de Patrimonio Biocultural de CONACYT.

ortizespejel56@gmail.com

Regresar al índice

Fotografía: Eagle8168, Getty Images

Rutas de transformación para ciudades sostenibles y resilientes

Martha Bonilla Moheno [1], Gian Carlo Delgado Ramos [2], Louise Guibrunet [2], Helda Morales [3], Iriana Zuria [4]

[1] Red Ambiente y Sustentabilidad, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz
[2] Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad de México
[3] Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas
[4] Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo

Resumen

Las ciudades ocupan menos de 2% de la superficie terrestre; sin embargo, su impacto ambiental es significativo. La escasa planeación para la urbanización ha generado pérdida de biodiversidad, agotamiento de recursos y contaminación excesiva. Asimismo, con la agudización de los impactos del cambio climático, la vulnerabilidad de las ciudades está en aumento. Ante este panorama, ¿cómo alcanzar la sostenibilidad en estos lugares? Desde distintas miradas disciplinarias, presentamos algunas de las características y condiciones necesarias para que las ciudades se conviertan en motor para mantener la biodiversidad y contribuir al bienestar humano. Nos referimos a la recuperación y mejoramiento de los ecosistemas urbanos y los servicios ambientales que ofrecen, a las formas en las que se planifican, construyen y gestionan las ciudades, a las relaciones de poder, capacidades y mecanismos necesarios para la toma de decisiones, y cuestiones relacionadas con la educación y la cultura ambiental.

Palabras clave:

ecología urbana, gobernanza, interdisciplina, metabolismo urbano

Las ciudades concentran la mayor parte de la población y actividad económica. Actualmente, a nivel global 54% de la población es urbana y tan solo las 600 ciudades más grandes del mundo generan 60% de la riqueza mundial. Para mediados de siglo, se espera que 90% del crecimiento poblacional sea urbano, especialmente en ciudades de África y Asia (Undesa 2022). La velocidad y escasa planeación con la que en general ocurre la urbanización intensifica la pérdida de biodiversidad, el agotamiento de recursos naturales y la contaminación de aguas, aire y suelo. Además, la alta demanda de recursos, bienes y servicios, causada por el consumo urbano, impacta tanto a las ciudades como a lugares lejanos, que resultan ser espacios abastecedores de recursos o sumideros de desechos.

No obstante, estos sitios no son estériles. Albergan especies y remanentes de vegetación, que ofrecen valiosos servicios ambientales, razón por la cual es necesario reconocer que lo urbano comprende e incide sobre la naturaleza. Aproximarse a lo urbano desde distintos enfoques y disciplinas permite entender su potencial para articular, desde lo individual, lo institucional y lo colectivo, cambios transformadores hacia la sostenibilidad. Pero ¿qué es una ciudad sostenible?, ¿cómo se promueve la creación de una? Éstas fueron las preguntas que nos planteamos en el panel organizado dentro del marco del congreso de ecología. En este texto las abordamos desde nuestras experiencias y especialidades.

La ecología y las ciudades

Las ciudades han dado paso a ecosistemas dominados por los seres humanos. Incluyen diferentes tipos de coberturas y usos del suelo (por ejemplo, infraestructura y áreas verdes; Figura 1), entre los cuales existen flujos de materia, energía y especies. Muchas de las actividades humanas que ahí ocurren son una fuente continua de perturbaciones que influyen en el ambiente local, pero también en las dinámicas globales (como el cambio climático). Estas características no excluyen que las ciudades puedan ser consideradas como sistemas con procesos ecológicos de interés propio, razón por la cual surge la ecología urbana que ha permitido descubrir patrones y entender los procesos que ocurren en estos lugares. Por ejemplo, se sabe que el número de especies y su abundancia, así como los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos que nos brindan, varían de acuerdo con el grado de urbanización del paisaje circundante y con factores asociados a la urbanización, como niveles de ruido, tránsito vehicular y contaminación. También se ha descrito que las características de la vegetación en una localidad influyen en la composición de especies de fauna, por lo que las especies de plantas que introducimos en las ciudades determinan las especies de fauna que podemos encontrar, tanto las deseables como las plagas.

Los estudios de ecología urbana aportan información útil para transitar hacia ciudades más sostenibles y resilientes. Se ha demostrado que las áreas verdes (por ejemplo, parques, jardines, lotes baldíos, remanentes de vegetación, humedales o campos agrícolas), aun cuando sean pequeñas, proveen un hábitat esencial para muchos elementos de la biodiversidad y

Figura 1. Se observa la extensa cobertura de infraestructura en la ciudad de Pachuca, Hidalgo.
Fotografía: J. Zúñiga-Palacios

servicios ecológicos para las personas, incluyendo su función reguladora, por ejemplo, al evitar inundaciones a través de la infiltración del agua. Al estar dispersas y tener distintas características –tamaño, grado de aislamiento, tipo de vegetación, así como distintos grados de perturbación antrópica– estas áreas dan forma y estructuran el paisaje urbano y favorecen (o impiden) procesos ecosistémicos o el flujo de especies. Un ejemplo de ello es la conformación de corredores ecológicos urbanos que permitan la movilidad de especies.

El metabolismo de las ciudades

Las ciudades dependen de energía y materiales (por ejemplo, agua, biomasa, minerales) para su funcionamiento. Al "metabolizar" estos insumos energéticos y materiales, se producen desechos y contaminantes del aire, agua y suelo. Los estudios de metabolismo urbano (que conceptualizan de manera metafórica a la ciudad como un organismo, y que cuantifican las entradas, circulación, y salidas de materiales hacia y desde las ciudades) permiten entender la relación entre una ciudad y los territorios con los cuales intercambia recursos y residuos. Las ciudades son sistemas abiertos y funcionan bajo esquemas metabólicos lineales; es decir, dependen de otros territorios (cercanos o lejanos) para la producción o extracción de recursos y la expulsión de sus residuos. Con base en esta concepción del metabolismo urbano, una forma de avanzar hacia la sostenibilidad implica el tránsito hacia un modelo más circular que, aun cuando es imposible alcanzar un sistema urbano completamente autosuficiente, puede reducir sustancialmente la importación de materiales y la

exportación de residuos (Figura 2). Ejemplos de ello es la producción de composta con desechos orgánicos urbanos para su uso en la producción agrícola periurbana o el reciclaje y reúso de materiales de la construcción.

Figura 2. Las chinampas, que producen alimentos mientras mantienen prácticas agrícolas tradicionales y agroecológicas, representan un ejemplo de espacio transformador para la sostenibilidad urbana.
Fotografía: Nuri Flores Abreu.

Al estudiar los flujos de materiales, energía, personas e información en y entre las ciudades y otros territorios, los estudios de metabolismo urbano pueden identificar las acciones con mayor potencial para habilitar espacios y fomentar prácticas más eficientes, sostenibles y resilientes, tal y como se propone desde la denominada “economía circular” que, entre otras cuestiones, apuesta por la recuperación de materiales de desecho de una industria para su reparación, reciclamiento y (o) su uso en otra industria o actividad urbana.

Para contribuir desde el metabolismo urbano a la construcción de ciudades más sostenibles y resilientes, pero también incluyentes y justas, es necesario documentar la distribución de los recursos dentro de la ciudad y los arreglos sociopolíticos que la median, con la identificación de quiénes tienen acceso adecuado y suficiente a recursos como el agua, la energía o los alimentos, y quiénes son afectados por contaminantes y procesos de expulsión de desechos. Así, reconocer el carácter desigual del espacio urbano y de sus funciones metabólicas (por ejemplo, la distribución de agua, energía o espacios verdes entre barrios), permite habilitar medidas para reducir la huella ambiental urbana y avanzar hacia escenarios de mayor justicia socioambiental y calidad de vida para todos los seres que las habitan.

Una forma de propiciar la existencia de áreas verdes y fomentar el metabolismo circular es a través de la agricultura urbana. La agricultura urbana, ya sea desde huertos caseros, comunitarios, escolares, traspatios, o hasta un árbol frutal o una maceta, provee beneficios ambientales, culturales y de salud (Figura 3). Además de brindar hábitat para la biodiversidad que se encuentra dentro del océano de cemento, la agricultura urbana puede contribuir a fortalecer la seguridad y soberanía alimentaria, al ofrecer alimentos locales frescos, sanos y culturalmente apropiados. Las investigaciones en agroecología urbana sugieren que para mantener espacios agrícolas sustentables dentro de las ciudades es necesario:

1. Cuidar la vida en el suelo, brindándole materia orgánica y cobertura, como hojarasca o cultivos que lo cubran; por ejemplo, el de calabaza.
2. Mantener los patios y veredas libres de cobertura de cemento.
3. Mantener una diversidad de plantas nativas.
4. Intercalar plantas de olor y plantas que provean de flores y nectarios para alimentar a polinizadores e insectos depredadores de plagas potenciales.
5. Mantener áreas con vegetación perenne que den refugio a organismos benéficos.

Aunque muchas de estas prácticas dependen de las personas que manejan cada huerto, es importante que existan fuertes lazos de organización social local para que la agricultura urbana no sólo sea sostenible, sino valorada y socialmente apropiada (Figura 4). Por ejemplo, las redes de agroecología urbana permiten el intercambio de semillas y saberes entre las personas que las integran, lo que a su vez genera conciencia política. Además, las cadenas cortas que suelen caracterizarla, acercan al productor con el consumidor, favoreciendo esquemas de economía solidaria y un mayor consumo de alimentos frescos y saludables. Esfuerzos en este sentido se identifican en el marco del programa Altépetl de la CDMX donde se aprobó la norma NACDMX-002-RNAT-2019 desde la cual se ha impulsado la certificación orgánica, libre de OGMs y de carácter local (Figura 5).

Figura 3. Huerto escolar en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas: un lugar de encuentro de saberes intergeneracional. Fotografía: Helda Morales

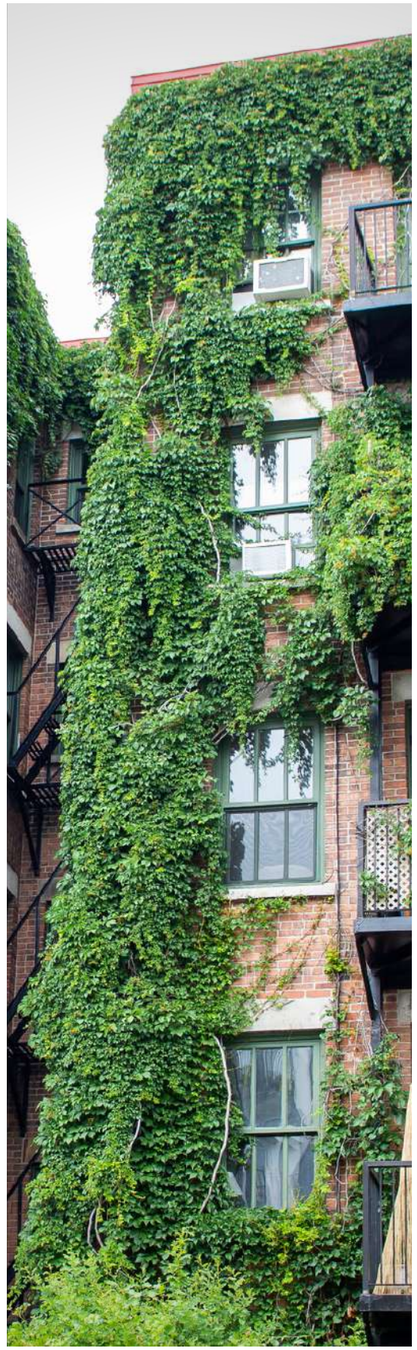
Figura 4. Huerto de traspatio en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas: espacios de refugio de biodiversidad en un mar de cemento. Fotografía: Helda Morales

Figura 5. Ejemplo de producción certificada desde el programa Altépetl en suelo de conservación de la CDMX. Fotografía: Gian Carlo Delgado Ramos

La gobernanza urbana

De cara al crecimiento de la población urbana y sobre todo a los escenarios tendenciales de consumo urbano de recursos (de 40 mil millones en 2010 a más de 90 mil millones de toneladas en 2050; IRP, 2018), la transformación urbana es necesaria y urgente. Esta transformación implica replantear la planeación, gestión y renovación de las ciudades para lo cual es central entender y fomentar aquellos esquemas de gobernanza que mejor trabajen a favor de tal proceso. Es decir, se trata de fortalecer o impulsar aquellos arreglos y procesos mediante los cuales los gobiernos, los agentes económicos y la sociedad civil se organizan, negocian y toman decisiones consensuadas sobre cuestiones de interés común (como es lo ambiental). Al mismo tiempo, supone desincentivar, tanto los arreglos y procesos excluyentes, carentes de participación social, como las prácticas o inercias que limitan los procesos de cambio normativamente deseables.

Aunque las características específicas de la posible transformación dependen del contexto de cada ciudad, en general las rutas estarán conformadas por un conjunto de cambios y acciones en torno a tres grandes dimensiones: (a) cambios en la *forma y estructura urbana* que habiliten la sostenibilidad y la resiliencia, que eviten la degradación ecosistémica y minimicen los impactos del cambio climático, tales como los eventos hidrometeorológicos extremos, el aumento del nivel del mar y el recrudecimiento del fenómeno isla de calor; (b) impulso a la *circularidad urbana* para reducir de manera significativa y hasta donde termodinámicamente sea factible la extracción de recursos y la generación de contaminantes y desechos, mediante el rediseño de productos, la reducción del consumo, y la reutilización, reparación, reciclaje y reinserción de materiales reciclados a la economía; y (c) cambios en los *comportamientos individuales*, *institucionales y colectivos* para fortalecer prácticas cada vez más sostenibles, ello de la mano del avance de *modelos de gobernanza urbana* cada vez más inclusivos y justos (UNEP and UN-Habitat 2021).



Fotografía: Colin Temple, Getty Images

Las acciones alrededor de estas dimensiones pueden generar sinergias, beneficios asociados y contraprestaciones, por lo que cada ciudad deberá definirlas con base en sus necesidades, capacidades y prioridades, al incluir las condiciones socioeconómicas, políticas y culturales que inciden a distintas escalas. Tales condiciones, delineadas por las estructuras de poder imperantes, impactan aspectos de financiamiento e innovación científica y tecnológica, así como las dinámicas ambientales y sus implicaciones a escala local.

Reflexiones finales

La complejidad que entraña tal proceso transformador demanda la generación de información y conocimiento integral y multiescalar (es decir, que analice procesos socioambientales que se desencadenan a múltiples escalas dentro y fuera de la ciudad), útil para la toma de decisiones y la construcción de alianzas entre los múltiples actores que habitan lo urbano y periurbano de cara a los que residen en el ámbito rural (WCRP, 2019). Solecki *et al.* (2021) sugieren trabajar en la interfaz ciencia-política-práctica (donde "lo político" es mucho más que los gobiernos y sus espacios de decisiones, pues también involucra la actuación y cuotas de poder de agentes económicos y de la sociedad civil organizada y no organizada). Esto será cada vez más importante para el avance del conocimiento transdisciplinario o aquel basado en la "coproducción" entre expertos y no-expertos; para la generación conjunta de soluciones en torno a los cambios individuales, colectivos e institucionales; así como para pensar y actuar de manera radicalmente transformadora.

Agradecimientos

Agradecemos a los organizadores del VIII Congreso Mexicano de Ecología la invitación a discutir la importancia del conocimiento para construir rutas de transformación urbana dentro del panel "Conocimiento para la construcción de rutas de transformación urbana sostenible y resiliente". Así mismo, agradecemos a Mario González y Miguel Martínez por las acertadas sugerencias a una versión previa.

Literatura citada

- IRP (International Resource Panel). 2018. *The weight of cities: Resource requirements of future urbanization.* A Report by the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. www.resourcepanel.org/reports/weight-cities

- UNEP and UN-Habitat (United Nations Environment Programme and United Nations Human Settlements Programme). 2021. *Global environment for cities-GEO for cities: Towards green and just cities*. UNEP, Nairobi, Kenya. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37413/GEOcities.pdf

- Solecki W, Delgado-Ramos GC, Roberts D, Rosenzweig C, Walsh B. 2021. Accelerating climate research and action in cities through advanced science-policy-practice partnerships. *Urban Sustainability*, 1:3. https://www.nature.com/articles/s42949-021-00015-z

- Undesa (United Nations Department of Economic and Social Affairs). 2022. *World population prospects 2022: Summary of results*. UNDESA/POP/2022/TR/NO. 3.

- WCRP (World Climate Research Programme). 2019. *Global research and action agenda on cities and climate change science* - Full version. 31 pp. WCRP Publication No. 13/2019. https://www.wcrp-climate.org/WCRP-publications/2019/GRAA-Cities-and-Climate-Change-Science-Full.pdf.

¿Quién escribe?

Dra. Martha Bonilla Moheno es bióloga (FC, UNAM) y doctora en Estudios Ambientales (Universidad de California, Santa Cruz). Desde 2011 es Investigadora Titular de la Red de Ambiente y Sustentabilidad en el Instituto de Ecología, A.C. (Xalapa, México). Integrante del Sistema Nacional de Investigadores. Está interesada en temas relacionados con el cambio ambiental global. Su investigación busca identificar los factores que influyen en el cambio de uso y cobertura del suelo a distintas escalas, resaltando el impacto que tienen los humanos como promotores del cambio en los ecosistemas, particularmente en los bosques tropicales.

martha.bonilla@inecol.mx

Dr. Gian Carlo Delgado Ramos es Investigador adscrito al Instituto de Geografía de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores nivel 2 y miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias desde 2017. Ha publicado tres docenas de libros de autoría, coautoría y coordinados, más de 80 capítulos de libros, y casi dos centenares de artículos científicos y de divulgación. Asimismo ha participado en diversos informes internacionales como el *GEO Ciudades* del PNUMA. Coordinó el informe *El Peso de las Ciudades en América Latina y el Caribe* (PNUMA, 2021). Sus publicaciones se pueden consultar en: www.giandelgado.net

giandelgado@unam.mx

Louise Guibrunet es Licenciada en Ciencias Políticas de la Universidad de Nottingham Reino Unido, Maestra en Planeación Urbana de la University College London, Reino Unido y Doctora en Sustentabilidad del Uso de Recursos Naturales de la University College London, Reino Unido. En su tesis doctoral exploró el papel de los trabajadores informales (voluntarios, pepenadores, recicladores) en la sustentabilidad del manejo de residuos sólidos de la Ciudad de México. Realizó una estancia posdoctoral en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, donde trabajó el tema de los múltiples valores de la naturaleza desde una perspectiva de justicia ambiental. Actualmente es investigadora del Instituto de Geografía (UNAM) donde desarrolla la línea de investigación en geografía urbana enfocada al metabolismo urbano de alimentos de la Ciudad de México.

louiseg@geografia.unam.mx

Dra. Helda Morales nació en Guatemala y estudió biología en la Universidad del Val en su país natal. Es maestra en manejo de plagas por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza en Costa Rica, y es doctora en ecología por la Universidad de Michigan. Realiza investigación en agroecología urbana y sistemas alimentarios sustentables. Es investigadora de El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, donde coordina el grupo “Masificación de la agroecología”, y LabVida, programa de formación a docentes en agroecología y soberanía alimentaria. Es fundadora de la Red Internacional de Huertos Educativos y de la Alianza de Mujeres en Agroecología, y editora asociada de la serie *Advances in Agroecology* y de *Agroecology and Ecosystem Services* de la serie de revistas *Frontiers*.

hmorales@ecosur.mx

Iriana Zuria es Bióloga egresada de la UNAM con estudios de maestría en Ecología Marina, por el CICESE y de doctorado en “Ecología” por la Universidad de Maryland, EEUU. Actualmente es profesora-investigadora de tiempo completo del Centro de Investigaciones Biológicas, del Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 2. Sus proyectos de investigación están relacionados con el impacto de las actividades humanas sobre la fauna silvestre, principalmente aves y en las áreas de ecología urbana, agroecología, manejo de recursos naturales, educación ambiental y sustentabilidad, conservación biológica, entre otras. Ha publicado más de 100 trabajos a nivel nacional e internacional.

izuria@uaeh.edu.mx

BOLETÍN de la SCME

Regresar al índice

Acerca del BOLETÍN de la SCME

El *Boletín de la SCME* es el órgano oficial de difusión de las actividades de la SCME, así como el vehículo principal de la diseminación del conocimiento ecológico entre la SCME y el resto de la sociedad. Se invita a la membresía de la SCME y a las personas interesadas en la ecología a enviar artículos de interés ecológico que no requieran de evaluación más allá de la de los miembros del Comité Editorial.

INFORMACIÓN PARA AUTORES

El *Boletín* publicará 10 números al año. Para que una contribución se publique en un número, deberá recibirse antes de la fecha límite correspondiente indicada en la siguiente tabla:

Número	Fecha de publicación	Fecha límite para recepción de manuscritos
1	15 de febrero	10 de diciembre
2	15 de marzo	10 de enero
3	15 de abril	10 de febrero
4	15 de mayo	10 de marzo
5	15 de junio	10 de abril
6	15 de agosto	10 de mayo
7	15 de septiembre	10 de junio
8	15 de octubre	10 de julio
9	15 de noviembre	10 de agosto
10	15 de diciembre	10 de septiembre

Para su consideración por el Comité Editorial, los manuscritos deben enviarse a:
boletinscme@gmail.com

TIPOS DE MANUSCRITOS

Avisos

Estos son anuncios sobre eventos de interés para miembros de la SCME y público en general interesado en ecología, incluyendo eventos organizados por la SCME (**máximo 200 palabras**)

Comentarios

Asuntos metodológicos o filosóficos relacionados con la ciencia de la ecología (**máximo 600 palabras**)

Obituarios

Obituarios de ecólogos prominentes y miembros de la SCME (**máximo recomendado: 1000 palabras**)

Contribuciones generales

Cualquier comunicación que no quepa dentro de las otras categorías, *e.g.*, avances, reflexiones, propuestas y revisiones de ideas y temas ecológicos. Se les recuerda que **el *Boletín* es un medio de divulgación**, por lo que es importante el uso de lenguaje accesible para el público en general (**máximo 1500 palabras**).

Para mayor información sobre lenguaje y estilo puedes consultar la guía para autores y revisores en https://scme.mx/boletin-de-la-scme/

IDIOMAS

El *Boletín* se publicará en español. Son bienvenidas las contribuciones cuyo texto íntegro esté en cualquiera de los idiomas indígenas que se hablan en México, en cuyo caso, se recomienda un resumen en español (máximo 200 palabras). A propuesta de los autores y en acuerdo con el comité editorial, los textos en español pueden incluir un resumen en cualquier lengua indígena, para lo cual, si es necesario, el comité editorial asistirá con la búsqueda y pago de traductores.

FORMATO

- El texto y literatura citada del manuscrito deben estar en fuente “Times New Roman”, tamaño de fuente 12 y escrito a doble espacio, dejando 2.5 cm de margen por los cuatro lados y en tamaño carta.

- El texto debe estar alineado a la izquierda (no usar la “justificación completa”, o sea alineación a la izquierda y también a la derecha). Las páginas deben estar numeradas.

- Para *Contribuciones generales y Comentarios*:

a) Limita el número de citas en el texto a **ocho**.

b) El límite de palabras establecido en la descripción de los tipos de contribuciones (ver arriba) sólo incluye el texto principal (excluye título, autores, adscripción, resumen, palabras clave, agradecimientos y literatura citada).

c) Organización del texto: título, autor(es), adscripción (institución, ciudad, estado), resumen, palabras clave (máximo siete, en orden alfabético), texto principal, agradecimientos, literatura citada o lecturas recomendadas, cuadros (uno por página, identificados numéricamente: "Cuadro 1"), pies de figura y figuras (una por página, identificadas numéricamente: "Figura 1"). Las referencias a cuadros y figuras en el texto se harán usando la palabra completa: "(Cuadro 2, Figura 3).

d) El **título** debe ser corto (máximo **12 palabras**) y descriptivo.

e) El **resumen** (máximo **200 palabras**) debe motivar el interés por la lectura del artículo.

f) Cuadros (tablas): No usar cuadrícula (retícula). Solamente usar una línea horizontal para separar el título del cuerpo del cuadro y otra debajo de la línea final de datos.

g) Es muy importante mantener el contenido de los cuadros al mínimo. Los cuadros con demasiada información entorpecen el carácter divulgativo del texto.

h) Agregar al final las fotografías, reseñas biográficas (**máximo 200 palabras**) y direcciones de correo electrónico de las/os autoras/es.

i) Imágenes y fotografías: Se les invita a acompañar sus textos con imágenes o fotografías relevantes al texto **(ver apartado "para envío de fotografías").**

j) Cómo citar literatura en el texto: seguir el formato de *AoB Plants* (pero modificado al español), por ejemplo, García *et al.* (2008) o Jacobsen y Ramírez (1999). Las citas deben ordenarse cronológicamente dentro de los paréntesis (López y Watanabe 1987; Domínguez 2007 a, b). Para citar artículos de tres o más autores use "*et al.*" después del apellido del primer autor (*v.g.*, Lara *et al.* 2005). Es importante no olvidar el uso de **cursivas para "*et al.*"**

LITERATURA CITADA

- Lista los trabajos citados en orden alfabético. Dos o más estudios de los mismos autores deberán ordenarse de manera cronológica, y si son del mismo año, alfabéticamente de acuerdo al título.

- Para trabajos con más de tres autores, se debe usar *et al.* después del primer autor.

- Se recomienda considerar si la literatura citada incluye trabajos que reflejen la diversidad etno-cultural de las contribuciones al campo de conocimiento abordado.

- Se recomienda seguir el formato de *AoB Plants* pero modificarlo al español. Importante: se omite "y" o "&" antes del último autor. Ejemplos:

Artículo
Varga S, Kytöviita MM. 2011. Sex ratio and spatial distribution of male and female *Antennaria dioica* (Asteraceae) plants. *Acta Oecologica*, 37:433-440.

Capítulo de libro
Hubbell SP, Foster RB. 1986. Canopy gaps and the dynamics of a Neotropical forest. En MJ Crawley, ed. *Plant Ecology*. Oxford: Blackwell Scientific, 77-96 .

Libro
Chapin FS III, Matson PA, Vitousek PM. 2012. *Principles of terrestrial plant ecology*, 2ª ed. Nueva York: Springer.

Cómo citar páginas web
Apellido A, Apellido B, Apellido C. (20 de mayo de 2020). Título de la página web. Nombre de la página. Consultado el [día mes año] de https://url.com
Apellido A. (03 de agosto de 2020). Título del archivo [Archivo Excel]. Nombre de la página. https://url.com

PARA EL ENVÍO DE FOTOGRAFÍAS:

- Cintillo inicial: la fotografía debe estar en formato horizontal (rectangular) tamaño mínimo de 3072 x 1152 px. Se pueden recibir imágenes en formato cuadrado o vertical teniendo en cuenta que la imagen se editará para que embone en la siguiente plantilla:

- Las imágenes de baja resolución pueden incluirse en el texto (no en el cintillo) pero aparte, es necesario enviar imágenes de alta resolución **(tamaño mínimo de 1920 x 1080 pixeles y formato JPG, PNG o TIFF)** como archivos comprimidos en una carpeta. Se recomienda nombrar los archivos de imágenes con un número de figura secuencial y el apellido del primer autor (*e.g.*, Fig_01_Chávez.png).

- Para gráficas o imágenes que incluyan texto, debe **verificarse que las letras, números y símbolos sean claramente legibles** (que correspondan aproximadamente al tamaño de fuente del texto como mínimo ya que los tamaños de fuente pequeños suelen ser difíciles de leer).

- Se deben incluir los créditos de las fotos en el pie de figura con nombre del autor (de la imagen, foto o ilustración) y de dónde se obtuvo. Ejemplos:

  Fotografía o ilustración del autor
  Huerto de traspatio en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Fotografía: Helda Morales

  Fotografía o ilustración de stock
  Ría Lagartos. Fotografía: Adriana28, Unsplash

Te invitamos a mantener actualizada tu membresía. Estas cuotas nos permiten seguir como Asociación Civil formalmente constituida. Además, tu membresía te da acceso a los eventos restringidos a socios y descuentos en los eventos que requieren el pago de una cuota

Conoce aquí los beneficios de tu membresía

Regresar al índice

SCME

SOCIEDAD CIENTÍFICA MEXICANA DE ECOLOGÍA