

## Cambio global y resiliencia ecológica de las redes de interacción bióticas

Jorge E. Ramírez-Albores<sup>1\*</sup> y Alina Gabriela Monroy-Gamboa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila

<sup>2</sup> Programa de Planeación Ambiental y Conservación, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, Baja California Sur

\* Dirección para correspondencia: [jorgeramirez22@hotmail.com](mailto:jorgeramirez22@hotmail.com)

El cambio global abarca un conjunto amplio de transformaciones ambientales, incluyendo el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la deforestación, la contaminación y la modificación de ciclos biogeoquímicos, que constituyen una de las mayores amenazas para la biodiversidad. Estas transformaciones están alterando profundamente las redes de interacción biótica que sustentan los ecosistemas, afectando a la biosfera de forma integrada. Estas redes representan los vínculos entre especies (por ejemplo, depredación, polinización, competencia), cuya complejidad y estabilidad regulan la dinámica, diversidad y persistencia de las comunidades ecológicas, siendo particularmente vulnerables a las alteraciones climáticas que afectan el equilibrio y la funcionalidad de los sistemas naturales (Sobral y Magrath, 2019). Aunado a la alteración de los patrones climáticos, factores como la introducción de especies exóticas y la fragmentación del hábitat están reconfigurando las conexiones entre especies (Doherty *et al.*, 2023), reduciendo la resiliencia –entendida como la capacidad de un ecosistema para

absorber perturbaciones y mantener su estructura y funciones esenciales— y debilitando su capacidad de recuperación.

Frente a este panorama, resulta indispensable replantear la relación entre la sociedad humana y los ecosistemas de los que depende. La mitigación del cambio global no solo implica reducir emisiones o conservar áreas naturales, sino también restaurar la conectividad entre hábitats, fomentar prácticas productivas sostenibles y fortalecer políticas ambientales basadas en evidencia científica. Solo a través de una acción colectiva, informada y sostenida será posible preservar la integridad ecológica del planeta y asegurar los servicios ecosistémicos que sustentan la vida y el bienestar humano.

## **¿Cuáles son las interacciones bióticas?**

En los ecosistemas, las interacciones bióticas regulan las relaciones entre las especies que coexisten en un mismo hábitat, determinando su abundancia, distribución y papel ecológico (Búrquez, 2022). Estas interacciones adoptan múltiples formas, desde asociaciones beneficiosas hasta relaciones de competencia o depredación, y resultan esenciales para el equilibrio y funcionamiento de las comunidades naturales. Entre ellas destaca la simbiosis, entendida como una asociación estrecha y prolongada entre organismos de distintas especies, en la que al menos uno obtiene un beneficio. En muchos casos, ambas partes se ven

favorecidas, estableciendo vínculos funcionales que pueden ser indispensables para la supervivencia de una o ambas especies (Bronstein, 2015).

Dentro de las relaciones simbióticas se encuentran el mutualismo, el comensalismo, la depredación y la competencia. El mutualismo es fundamental para la estructura y estabilidad de los ecosistemas, pues interviene en procesos ecológicos clave como la polinización, la dispersión de semillas y la defensa ante patógenos o depredadores (Bronstein, 2015). Estos vínculos generan redes de interacción que sostienen la productividad y la resiliencia ecológica. En el comensalismo, una especie obtiene beneficios –como refugio, alimento o transporte– sin perjudicar a la otra. Entre sus variantes se incluyen el inquilinismo, ejemplificado por el tecolote llanero (*Athene cunicularia*), que utiliza madrigueras abandonadas por perritos de las praderas (*Cynomys* spp.); la foresia, en la que organismos como las rémoras se adhieren a tiburones para desplazarse y protegerse; y la tanatocresia, donde los cangrejos ermitaños emplean conchas vacías de moluscos como refugio.

La depredación cumple una función reguladora al controlar las poblaciones de presas y mantener el equilibrio ecológico (Sobral y Magrach, 2019; Búrquez, 2022; del Val, 2022). Un ejemplo paradigmático es el del lobo gris (*Canis lupus*) en el Parque Nacional Yellowstone (EE. UU.), cuya reintroducción restableció la dinámica entre alces (*Alces alces*) y álamos (*Populus tremuloides*), revirtiendo la degradación vegetal causada por la ausencia del depredador. Además, los depredadores limitan la proliferación de insectos nocivos, reduciendo plagas

agrícolas y la transmisión de enfermedades zoonóticas. Dentro de este grupo se incluyen el parasitismo y la herbivoría. En el parasitismo, una especie se beneficia a costa de otra, como ocurre con garrapatas, pulgas o helmintos que se alimentan o reproducen en sus hospederos. A diferencia de los depredadores, los parásitos mantienen una relación más duradera, dependiendo parcial o totalmente del hospedero para completar su ciclo vital.

La herbivoría constituye otro proceso esencial, en el que los herbívoros consumen tejidos vegetales vivos total o parcialmente. Aunque este consumo no siempre provoca la muerte de la planta, puede afectar su crecimiento, reproducción y supervivencia. Este tipo de interacción incide en la estructura de la vegetación, regula la competencia entre especies y promueve el reciclaje de nutrientes, desempeñando un papel clave en la dinámica trófica y en el mantenimiento de la productividad ecosistémica.

Finalmente, la competencia se manifiesta cuando dos o más especies utilizan los mismos recursos limitados –como alimento, espacio o luz–, reduciendo su crecimiento, supervivencia o éxito reproductivo (Sobral y Magrach, 2019; Búrquez, 2022; del Val, 2022). Esta competencia interespecífica influye en la dinámica poblacional, la distribución geográfica y la estructura de las comunidades. Con el tiempo, puede conducir a la exclusión competitiva, donde una especie desplaza a otra, o a la partición del nicho, que permite la especialización y coexistencia. En ecosistemas perturbados, la competencia suele intensificarse, especialmente cuando las condiciones ambientales superan los límites de tolerancia de las

especies, ocasionando declives o extinciones locales. Un caso ilustrativo es la expansión del pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) en los ríos del sureste de México, cuya invasión desplaza a peces nativos y altera las redes tróficas locales, evidenciando cómo las interacciones bióticas determinan la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas.

## Importancia a nivel de ecosistema

En conjunto, estas interacciones conforman redes ecológicas complejas que modulan la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas. Además, constituyen un componente central en la organización de las comunidades, ya que moldean los patrones de biodiversidad y actúan como motores de los procesos evolutivos, influyendo en mecanismos como la selección natural, la divergencia adaptativa y la coevolución. Sin embargo, diversos factores pueden alterarlas o modificarlas, generando cambios en la distribución, abundancia y fenología de las especies, lo que compromete la estabilidad poblacional y el equilibrio de los ecosistemas (HilleRisLambers *et al.*, 2013; Faillace *et al.*, 2021).

Entre los principales agentes de perturbación destacan el cambio climático, la fragmentación del hábitat, las invasiones biológicas y la contaminación, todos ellos capaces de transformar las redes tróficas y mutualistas, desestabilizando procesos ecológicos esenciales. Estas alteraciones reducen la resiliencia de los ecosistemas, promueven la pérdida de biodiversidad y modifican los patrones de

coevolución, afectando el funcionamiento y los servicios ecosistémicos a múltiples escalas. De todos estos factores, el cambio climático sobresale por su rapidez y magnitud, así como por sus efectos sinérgicos con la deforestación y la cacería furtiva. Este fenómeno provoca desajustes en la sincronización entre especies al alterar su distribución geográfica y modificar los ciclos biológicos, lo que repercute en su abundancia y dinámica poblacional (Gellesch *et al.*, 2013; Faillace *et al.*, 2021).

La resiliencia ecológica se define como la capacidad de un ecosistema para absorber perturbaciones –naturales o antrópicas– y mantener su estructura, composición y funciones esenciales. Sus principales mecanismos incluyen la diversidad funcional, que mantiene procesos esenciales al distribuir funciones entre especies; la redundancia ecológica, que permite la sustitución funcional cuando se pierden componentes del sistema; y la conectividad del paisaje, que facilita el flujo de organismos y genes, favoreciendo la recolonización y la estabilidad. Para medir esta capacidad se emplean métricas como la resistencia (grado de respuesta ante un disturbio), la recuperación (velocidad con que retorna al estado previo) y la persistencia (duración de sus funciones en el tiempo). La integración de estos indicadores en modelos ecológicos y estrategias de manejo adaptativo permite identificar umbrales de vulnerabilidad y fortalecer la estabilidad de los ecosistemas, asegurando su funcionamiento y los servicios que sostienen la vida frente a los efectos del cambio global.

En el contexto del cambio global, la resiliencia se ve comprometida por la simultaneidad y la intensidad de las presiones que afectan los sistemas naturales. A diferencia de los disturbios locales o temporales, el cambio global opera de manera acumulativa y a escalas espaciales y temporales sin precedentes. Las alteraciones en el clima, los usos de suelo y los flujos biogeoquímicos generan un efecto sinérgico que supera la capacidad adaptativa de muchas especies y comunidades. Fortalecer la resiliencia implica conservar la diversidad funcional, restaurar la conectividad ecológica y reducir las causas estructurales del deterioro ambiental. Solo mediante estos enfoques integrados es posible sostener la estabilidad ecológica y mantener los servicios que permiten el bienestar humano y la continuidad de la vida en el planeta.

En los sistemas planta-polinizador, el incremento de la temperatura puede producir cambios fenológicos, como la floración prematura de algunas especies vegetales sin que exista una respuesta sincronizada en sus polinizadores, lo que reduce la tasa de polinización y limita el éxito reproductivo de las plantas, comprometiendo la persistencia de ambas poblaciones. Un ejemplo claro de estos desajustes se observa en México, donde el incremento de las temperaturas y la pérdida de cobertura vegetal han alterado la sincronía entre los murciélagos nectarívoros (como *Leptonycteris yerbabuenae*) y los agaves (*Agave* spp.), interrumpiendo procesos de polinización clave para la supervivencia de ambos organismos y generando repercusiones económicas al reducir la productividad de cultivos asociados a la elaboración de mezcal y tequila. De manera análoga, en

ecosistemas árticos el deshielo prematuro ha provocado desajustes fenológicos entre la disponibilidad de forraje y las demandas energéticas de herbívoros, cuya reproducción ya no coincide con los picos de oferta alimenticia, comprometiendo su éxito poblacional. Esto repercute negativamente en su supervivencia y genera efectos en cascada hacia niveles tróficos superiores, comprometiendo la estabilidad de las cadenas alimenticias y debilitando la funcionalidad del ecosistema.

La velocidad del cambio ambiental inducido por actividades humanas –como la fragmentación del hábitat derivada de la intensificación agrícola y ganadera, la contaminación o la introducción de especies exóticas– supera la capacidad adaptativa de muchas especies. Estos cambios ocurren en escalas de tiempo reducidas (décadas o años), mientras que los mecanismos de respuesta evolutiva o adaptativa requieren periodos más prolongados. Esta desincronización genera una pérdida de funcionalidad ecológica, disminuyendo la resiliencia de las comunidades y, en casos extremos, provocando extinciones locales o globales. Este desajuste constituye uno de los principales impulsores de la actual crisis de biodiversidad. Asimismo, la fragmentación del hábitat interrumpe las redes de interacciones bióticas al dividir los ecosistemas en parches aislados, reduciendo la conectividad ecológica y limitando funciones esenciales. Por ejemplo, polinizadores como abejas y murciélagos encuentran barreras físicas que restringen su acceso a las plantas, disminuyendo la fecundidad y el éxito reproductivo de estas. De manera similar, los dispersores de semillas –como ciertos primates– ven comprometida su



movilidad y funcionalidad debido a la reducción y el aislamiento de los fragmentos de vegetación.

Los grandes depredadores, altamente sensibles a estas alteraciones, suelen experimentar declives poblacionales que desencadenan efectos en cascada, reconfigurando las redes tróficas y afectando la estabilidad de las comunidades. Estos ejemplos ilustran cómo el cambio global no solo altera la distribución y abundancia de las especies, sino que también transforma la estructura y el funcionamiento de las interacciones ecológicas, comprometiendo la integridad y resiliencia de los ecosistemas.

## **Acciones para evitar o disminuir la alteración en las interacciones**

La conservación de los ecosistemas requiere un enfoque integral que no solo proteja a las especies, sino también las interacciones ecológicas que sustentan su funcionalidad y estabilidad frente al cambio climático (del Val, 2022). Un ejemplo claro es la restauración de polinizadores nativos, como las abejas sin aguijón (*Melipona beecheii*) en la península de Yucatán, cuya preservación garantiza la regeneración de plantas silvestres y cultivos agrícolas. De manera complementaria, los corredores biológicos en la Sierra Madre Oriental facilitan la conectividad de mamíferos medianos y grandes, promoviendo la dispersión de semillas y el control natural de herbívoros. En ambientes acuáticos, la protección de mutualismos entre peces limpiadores y especies hospedadoras de arrecifes, como los gobios y sus

anfitriones de mayor tamaño, contribuye a mantener la estructura trófica y la salud de los arrecifes de coral. Finalmente, la implementación de prácticas agroecológicas, como setos vivos y la diversificación de cultivos, conserva interacciones tróficas esenciales entre insectos, aves y plantas, fortaleciendo la resiliencia ecológica de los paisajes productivos. Estos ejemplos ilustran que preservar las interacciones ecológicas es tan crucial como conservar las especies, ya que constituyen la base del equilibrio y la capacidad de adaptación de los ecosistemas frente a las perturbaciones ambientales. Para alcanzar este objetivo, es necesario implementar estrategias que restauren los procesos ecológicos y fortalezcan la resiliencia ambiental. Entre las acciones clave se incluyen:

1. *Reintroducción y protección de depredadores tope.* La reintroducción de especies depredadoras en zonas donde han sido localmente extirpadas puede generar efectos tróficos en cascada que promuevan la recuperación de funciones ecológicas y el restablecimiento del equilibrio ecosistémico. En México, la reintroducción del lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) ha favorecido el control de herbívoros y mesodepredadores, contribuyendo a la recuperación de hábitats degradados. De manera similar, en Argentina, la reintroducción del jaguar (*Panthera onca*) en los Esteros del Iberá ha demostrado su capacidad para regular poblaciones de presas clave y fortalecer la resiliencia ecológica del sistema. Estas iniciativas deben complementarse con acciones de protección que minimicen el riesgo de nuevas extinciones locales y fomenten la participación activa de las comunidades humanas, cuyo involucramiento es

esencial para garantizar el éxito y la sostenibilidad de los programas de conservación.

2. *Restauración de hábitats*. La conexión de fragmentos de vegetación a través de corredores ecológicos favorece el desplazamiento de especies, la dispersión de semillas y el mantenimiento de interacciones ecológicas clave. Idealmente, estos corredores deben estar conformados por vegetación secundaria nativa que provea hábitat y recursos adecuados. En entornos altamente transformados, como paisajes urbanos, la integración de parques, camellones y jardines con plantas nativas puede funcionar como conectores funcionales. En México, los corredores biológicos de la Sierra Madre Oriental y el Corredor Biológico Mesoamericano son ejemplos exitosos de cómo la conectividad ecológica puede sostener redes funcionales entre fragmentos de bosque.
3. *Control de especies invasoras*. Su eliminación o manejo es fundamental para restablecer interacciones tróficas naturales y recuperar funciones ecológicas esenciales. En las islas del Golfo de California, la eliminación de cabras ferales permitió la regeneración de comunidades vegetales endémicas, restableciendo las redes entre plantas y dispersores. En las Islas Galápagos, el control de ratas y cabras ha posibilitado la recuperación de tortugas gigantes (*Chelonoidis spp.*) y aves marinas, restableciendo nodos críticos dentro de la red trófica insular.
4. *Manejo sustentable de recursos*. Las redes de interacción biótica poseen cierto grado de autorregulación cuando los recursos son gestionados de manera sostenible. La pesca con cuotas adaptativas en comunidades costeras de Baja

California Sur ha permitido conservar poblaciones viables y preservar las relaciones tróficas en ecosistemas marinos. Tecnologías de monitoreo, como el rastreo satelital del jaguar (*Panthera onca*) en la Selva Maya o las cámaras trampa en la Sierra Madre Occidental, han facilitado el análisis de redes de movimiento y comportamiento, mejorando las estrategias de conservación. Asimismo, proyectos de restauración basados en la ecología del comportamiento, como la reintroducción de la guacamaya roja (*Ara macao*) en Veracruz y Costa Rica, han demostrado que fortalecer vínculos sociales y ecológicos aumenta la estabilidad de las redes mutualistas y la resiliencia del ecosistema.

Las redes de interacciones bióticas son la estructura invisible que sostiene la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Sin embargo, el cambio global –a través del cambio climático, la deforestación, la fragmentación del hábitat y la introducción de especies invasoras– está reconfigurando estas redes, alterando relaciones críticas como el mutualismo planta-polinizador o las dinámicas depredador-presa. La comprensión de cómo se reorganizan estos entramados bajo escenarios de perturbación es esencial para desarrollar estrategias de manejo adaptativo y restauración funcional. Por lo tanto, comprender cómo se reconfiguran las redes bióticas bajo escenarios de perturbación resulta crucial para diseñar estrategias de mitigación oportunas y adaptaciones basadas en principios ecológicos.

La aplicación conjunta de estas acciones, junto con políticas de conservación integrales, el fortalecimiento de la conectividad ecológica y la gestión activa de

especies clave e invasoras, permite incrementar la resiliencia y sostenibilidad de los ecosistemas ante la creciente presión ambiental. En definitiva, solo mediante esfuerzos interdisciplinarios, coordinados y sostenidos será posible preservar la complejidad de las interacciones bióticas y, con ello, garantizar la estabilidad y funcionalidad de los ecosistemas en un mundo cada vez más transformado por la actividad humana.

## Agradecimientos

A los Fondos Institucionales de Investigación para los proyectos 38111-425104001-2389 y 38111-425104001-2178 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. A Erika J. Cruz-Bazán y a Eber G. Chávez-Lugo por su apoyo en la recopilación de información.

## Referencias

Bronstein JL (2015). The study of mutualism. En Bronstein JL (Ed.), *Mutualism* (pp. 3-19). Oxford University Press.

Búrquez A (2022). Interacciones bióticas. *Boletín de la SCME* 2:14-21.

del Val E (2022). Redes de interacciones para el estudio de la biodiversidad. *Revista Digital Universitaria* 23.

Doherty S, Saltré F, Llewelyn J *et al.* (2023). Estimating co-extinction threats in terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 29:5122-5138.

Faillace CA, Sentis A and Montoya JM (2021). Eco-evolutionary consequences of habitat warming and fragmentation in communities. *Biological Reviews* 96:1933-1950.

Gellesch E, Hein R, Jaeschke A *et al.* (2013). Biotic interactions in the face of climate change. En Lüttge U, Begschiag W, Francis D, Cushman J (Eds.), *Progress in Botany* 74 (pp. 321-349), Springer-Verlag, Berlin.

HilleRisLambers J, Harsch MA, Ettinger AK *et al.* (2013). How will biotic interactions influence climate change–induced range shifts? *Annals of the New York Academy Science* 1297:112-125.

Sobral M, Magrach A (2019). Restaurando la funcionalidad de los ecosistemas: la importancia de las interacciones entre especies. *Ecosistemas* 28:4-10.

Manuscrito aceptado