



INSTITUTO  
DE ECOLOGIA  
UNAM

# Okos=

# 29

Abril 2025

## 15 años



## DIRECTORIO

### UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas  
*Rector*

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda  
*Secretaría General*

Mto. Tomás Humberto Rubio Pérez  
*Secretario Administrativo*

Dra. Diana Tamara Martínez Ruíz  
*Secretaría de Desarrollo Institucional*

Lic. Joaquín Narro Lobo  
*Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria*

Mto. Hugo Concha Cantú  
*Abogado General*

Dra. Soledad Funes Argüello  
*Coordinadora de la Investigación Científica*

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

### INSTITUTO DE ECOLOGÍA

Dra. Ana Elena Escalante Hernández  
*Directora*

Dr. Julio E. Campo Alves  
*Secretario Académico*

Mtra. María del Carmen Aguilar Mendoza  
*Secretaria Administrativa*

Dr. Luis Enrique Eguiarte Fruns  
*Editor*

Dra. Clementina Equihua Z.  
Dra. Erika Aguirre Planter  
Dra. Rosalinda Tapia López  
Dra. Rosa Jimena Rey Loaiza  
*Asistentes editoriales*

Dra. Rosa Jimena Rey Loaiza  
*Corrección de estilo*

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

Dra. Erika Aguirre Planter  
*Diseño editorial y formación*

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

*Oikos*= año 10, No. 29 (abril 2025) es una publicación cuatrimestral, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Unidad de Divulgación y Difusión del Instituto de Ecología, Ciudad Universitaria, Circuito Exterior S/N, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Tel. (55)5622-9002, correo electrónico: [oikos@icologia.unam.mx](mailto:oikos@icologia.unam.mx), <https://www.ecologia.unam.mx/web2/index.php/es/comunicacion>. Editor responsable: Luis Enrique Eguiarte Fruns. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-111710202000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Certificado de Licitud de Título y Contenido: en trámite, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

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

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

Diseño de portada: Clementina Equihua Z.





INSTITUTO  
DE ECOLOGIA  
UNAM

Abril 2025

## CONTENIDO

### EDITORIAL

#### **Oikos= cumple 15 años**

Clementina Equihua Z. y Luis E. Eguiarte.....4

### ARTÍCULOS

#### **La amenaza a los perritos llaneros**

Gabriela Castellanos-Morales.....6

#### **Abejas metálicas: polinizadoras de orquídeas**

Clementina Equihua Z. y Luis E. Eguiarte.....9

#### **Rastros moleculares: claves para entender el origen y evolución de la vida en el Universo**

Erik Eduardo Aguilar Vaca y María Colín-García.....13

#### **¿Equidad Epistémica? En defensa de la ciencia, pero contra el cientificismo**

Jorge Soberón y Carlos Martínez del Río .....20

### RESEÑAS

#### **Blue-footed boobies. Sibling conflict and sexual infidelity on a tropical island 2023**

César Domínguez Pérez Tejada.....26

#### **La colección Ecosalud**

Luis E. Eguiarte .....29

## Editorial

Oikos= cumple 15 años

Clementina Equihua Z. y Luis E. Eguiarte

Pasa el tiempo y sin percatarse se cumplen 15 años. ¡En esta ocasión quien los cumple es nuestro querido *Oikos=* en su nueva etapa!

Este proyecto editorial inició a principios del 2010 y desde entonces hemos publicado 29 números de la revista y un total de 230 contribuciones que han involucrado a gran cantidad de personas investigadoras, técnicas y estudiantes de nuestro Instituto y de otras dependencias e instituciones y constituyen una gran diversidad de artículos, reseñas, editoriales, infografías y noticias académicas. Siempre se agradece la colaboración de las y los autores, pero es particularmente estimulante identificar entre esas personas a estudiantes de licenciatura y de posgrado que han pasado por los laboratorios del Instituto y han contribuido con manuscritos que indudablemente enriquecen los contenidos de la revista por el enfoque fresco que siempre aportan.



Sofía Abisag Montes Rodríguez ilustró al "chocho", *Astrocaryum mexicanum*, para nuestro número 20. El chocho es una palmera de las selvas tropicales húmedas de nuestro país que empezaron a estudiar el Dr. Sarukhán y su equipo desde 1970. Gran parte de la ecología tropical de México floreció a partir de estos estudios.



Dedicamos el número 21 de *Oikos=* a las aves y protagoniza nuestra portada una fotografía de J. Alejandro González Terrazas.

Durante estos 15 años hemos abordado una gran diversidad de temas que confirman que la ecología es una ciencia viva y pujante que impulsa el conocimiento moderno de nuestros entornos naturales. Muchos de los artículos que hemos incluido en nuestras páginas resaltan la relevancia de la ecología como una plataforma clave para entender y resolver la gran diversidad de problemas ambientales que enfrenta México y nuestro planeta. Así lo ilustramos en los números dedicados al cambio climático (*Oikos=* 7 y 11), el Antropoceno (*Oikos=* 15) y la apremiante necesidad de conservar nuestro patrimonio natural (*Oikos=* 2, 12, 14, 20 y 26). No ha quedado de lado la investigación en ciencia básica, que nos muestra una perspectiva de la biodiversidad a la que rara vez nos asomamos en la vida cotidiana (*Oikos=* 4, 5, 13, 16, 19, 23, 25 y 28), ni la del campo emergente de las ciencias de la sostenibilidad (*Oikos=* 8, 9, 22 y 28), que incorpora temas que ayudan a entender los sistemas productivos (*Oikos=* 17 y 18). También hemos celebrado la vida de personajes ilustres que son cimiento de la actividad científica en ecología (*Oikos=* 10 y 27), así como a la biodiversidad por sí misma y algunos de sus protagonistas emblemáticos, como las aves y



los murciélagos (*Oikos*= 1, 6 y 21). La pandemia por el SARS cov-2 también fue una oportunidad para reflexionar sobre lo que sucedió en 2020 y 2021 (*Oikos*= 24 y 25).

En este número de *Oikos*= ofrecemos a nuestros lectores una historia de investigación escrita por Gabriela Castellanos Morales (estudiante del Instituto y ahora investigadora de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa) para entender, desde la perspectiva genética, “La amenaza a los perritos llaneros” de Janos, Chihuahua. Los editores contribuimos con una historia de descubrimiento que nos acerca a entender la biología de las “Abejas metálicas: polinizadoras de orquídeas”. Erik Eduardo Aguilar Vaca y María Colín García, del Instituto de Geología de nuestra universidad, nos acercan a la investigación con “Biofirmas en ambientes extremos y extraterrestres”, tema que podría ser clave para la búsqueda de vida en otros planetas. Indudablemente muy pertinente en tiempos de cambio, Jorge Soberón y Carlos Martínez del Río, de la Universidad de Kansas y de la Universidad de Wyoming, respectivamente, nos comparten sus reflexiones en “¿Equidad epistémica? En defensa de la ciencia, pero en contra del cientificismo”.

Para cerrar este número incluimos dos reseñas, una a cargo de César Domínguez Pérez-Tejada, de nuestro Instituto, quien nos comparte su lectura de la obra de Hugh Drummond "Blue-footed boobies. Sibling conflict and sexual infidelity on a tropical island", y otra de Luis E. Eguiar-te, quien leyó los cuatro libros de la colección Ecosalud para comentarlos con los lectores de *Oikos*=.

Se dice fácil “quince años”, pero la publicación de esta revista no sería posible sin el apoyo de nuestras autoridades en sus tiempos de dirección, específicamente los doc-



En nuestro número de septiembre de 2019 (*Oikos*= 23) recordamos el legado de Alexander von Humboldt. La portada muestra una ilustración de *Acca sellowiana* hecha por el mismo Humboldt en 1808, tomada de *The legacy of Alexander von Humboldt, Voyage de Humboldt et Bonpland*.

tores César Domínguez y Constantino Macías, así como la actual directora, la doctora Ana E. Escalante. Por supuesto, agradecemos haber tenido dos proyectos PAPIIME (PE205017 y PE208918) que financiaron la revista durante 2017 y 2018, respectivamente. El entusiasmo de Gaby Jiménez y Laura Espinosa Asuar para echar a andar este proyecto fue invaluable, así como la asistencia editorial de Esmeralda Osejo Brito y ahora de Erika Aguirre Planter, Rosalinda Tapia López y Jimena Rey. Como desde hace 15 años, Alejandro R. González Ponce ha dado un gran apoyo en la puesta en marcha de nuestra página web. Y por supuesto, *Oikos*= no sería nada sin sus autoras y autores ni sin las y los lectores. ¡A todos ellos, gracias!



Nuestro número de febrero de 2015 (*Oikos*= 13) está dedicado a las especies en movimiento, con la más emblemática de las migratorias: la mariposa monarca. La ilustración la elaboró el maestro Diego Rodrigo Ortega Díaz.

## La amenaza a los perritos llaneros

Gabriela Castellanos-Morales

Llegamos antes del despunte del alba. Teníamos que preparar todo antes de que comenzaran a emerger de sus madrigueras. Una vez que todo estuvo listo, lo único que teníamos que hacer era esperar y observar. Mientras terminaba de salir el sol, había un poco de tiempo para tomar un respiro y para disfrutar del paisaje que nos rodeaba. Aún estaba fresco y el sol iba revelando y despertando lentamente a los habitantes de la llanura.

Poco a poco se empezó a ver actividad en la colonia, un brinco con un saludo por aquí, un roce de narices por allá. Los perritos llaneros son animales muy sociales y viven en grupos familiares. Son ardillas terrestres que viven en madrigueras que ellas mismas escarban en el suelo. Conforme caminamos por el pastizal eran visibles las diferencias en la vegetación entre las áreas donde viven los perritos y donde no los hay.

Es impresionante cómo estos animalitos pueden modificar el ambiente en el que viven, de hecho, por esta razón son considerados ingenieros ecosistémicos. Además, de su

presencia depende el bienestar del pastizal y los animales que lo habitan, por lo que en biología se les reconoce como especies clave. En los años 1980, la colonia remanente de perritos llaneros (*Cynomys ludovicianus*) más grande de Norteamérica estaba en Janos, Chihuahua. Este sitio representa el límite sur del área de distribución de estas ardillas terrestres, que viven en los pastizales de las Grandes Planicies que se encuentran desde el sur de Canadá hasta México.

En el decenio de 1990 se empezó a observar que la colonia de Janos se estaba fragmentado y los perritos llaneros estaban perdiendo su hábitat a consecuencia de los cambios en el uso de suelo para desarrollar agricultura y por el sobrepastoreo provocado por la ganadería. Cuando otros biólogos y yo llegamos en el 2007, tomamos muestras de sangre de estos animales para realizar análisis de ADN, ya que queríamos evaluar el efecto de esos cambios en el uso de suelo sobre las poblaciones de los perritos llaneros de esa región.



Perritos llaneros (*Cynomys ludovicianus*) en una madriguera en el pastizal de Janos, Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México en 2007  
Fotografía: Gabriela Castellanos Morales

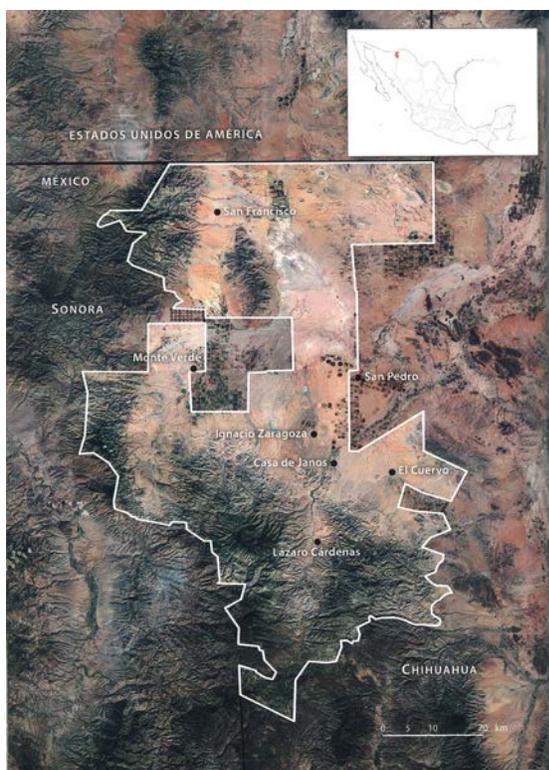


### El código de la vida

¿Por qué estudiar el ADN de este o cualquier organismo? Esta molécula es conocida como la “molécula de la vida”. Imagínate un libro que contiene recetas intercaladas con historias del pasado antiguo y reciente. Esas historias están escritas en código y nuestro trabajo es descifrarlo para descubrir sus secretos.

Cada individuo tiene un libro particular donde está escrita la historia de sus ancestros, desde su padre y madre y así hacia atrás, hasta llegar al último ancestro en común que tenemos todos los seres vivos. Si juntamos la información del libro de cada individuo, podemos apreciar que cada población es como una biblioteca, y al comparar las semejanzas y diferencias entre cada libro (individuos) y entre bibliotecas (poblaciones) podemos entender que las historias están interconectadas y distinguir dónde convergen y dónde se separan.

Al estudiar el ADN de los perritos llaneros de Janos queremos comprender qué tanto estaba influyendo el cambio en el uso de suelo en los niveles de diversidad genética, la disminución de las colonias y la probabilidad de extinción de colonias de distintos tamaños; la medida para determinarlo era la observación de menor diversidad genética en colonias más pequeñas y en las más fragmentadas. La información que obtuviéramos de estudiar el ADN nos ayudaría a entender además si se estaba perdiendo la conectividad entre las colonias y los efectos que les provoca



Mapa de Janos. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Janos en el Estado de Chihuahua, México. Cortesía o Tomado de G. Ceballos y J. Pacheco, 2021. “Los mamíferos de la Reserva de la Biosfera Janos, Chihuahua. Guía de Campo. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

#### ADN (Ácido Desoxirribonucleico)

Biomolécula portadora de la información genética y encargada de la transmisión hereditaria de todos los organismos.

la fragmentación y la pérdida del hábitat en el mediano y largo plazo. Esta información nos sería útil para proponer medidas que nos permitieran conservarlas.

#### Del campo al laboratorio y del laboratorio a la conservación

Estuvimos cerca de tres meses trabajando en varios sitios de Janos. Tomamos muestras de sangre en varias colonias de distintos tamaños y con distinto grado de aislamiento (consecuencia de la transformación de su hábitat).

¡Ahora sí!, era momento de ponerse la bata de laboratorio. Extrajimos el ADN de todas nuestras muestras y nos enfocamos en regiones particulares de esta molécula que nos permitieran responder a nuestras preguntas. Es decir, seleccionamos ciertas secciones o párrafos de sus “libros genéticos” para comparar las secciones del ADN de los individuos de las distintas poblaciones que contenían la historia que nos interesaba conocer.

Los datos de ADN que recabamos nos ayudaron a entender que las colonias que hoy están aisladas, en el pasado habían estado conectadas entre sí en colonias muy grandes o una sola, por lo que pudimos concluir con confianza que la fragmentación y pérdida de hábitat que venía ocurriendo desde los años 1980 sí estaba afectando negativamente a las colonias. Es decir, si queremos promover que los perritos llaneros de Janos sigan siendo parte del paisaje de los pastizales de México, tenemos que reducir el cambio del uso de suelo. Además, debemos impulsar acciones para reducir el sobrepastoreo y evitar que nuevas áreas sean convertidas en campos agrícolas. Para el bienestar de esta especie en Janos es necesario restablecer la conectividad que se ha perdido, poniendo énfasis en las colonias pequeñas, pues éstas tienen mayor probabilidad de desaparecer. Además, por su papel como especies clave, la recuperación de las colonias de perritos llaneros promoverá la permanencia de los pastizales en el largo plazo: pastizales más sanos y manejados adecuadamente proporcionarán mejores recursos no solo para la vida silvestre que los habita, sino también para promover una ganadería sostenible.

#### El futuro de los perritos llaneros

Los perritos llaneros se encuentran protegidos por la legislación mexicana. Primero se protegió la región en 2009 (Janos fue declarada Reserva de la Biosfera: <https://tinyurl.com/mtnr5ssj>), y en 2018 se

#### Diversidad Genética

Cambios en la secuencia nucleotídica que presentan los diferentes alelos de un gen.

publicó el Programa de Acción para la Conservación de las Especies (PROCER) de los perritos llaneros (<https://tinyurl.com/yz48njzt>). Esto quiere decir que el gobierno tiene interés en defender a la especie con programas que ha diseñado para protegerla y recuperarla. Sin embargo, hacia el año 2013 se identificó una pérdida considerable de colonias por causas desconocidas; por lo rápido que sucedió ese cambio y por su magnitud en términos del área de colonias perdidas y el impacto en las colonias más grandes, se sospecha que el declive pudo ser causado por el brote de alguna enfermedad. Este suceso podría haber acelerado la pérdida de colonias en el área, en particular en las colonias más pequeñas.

En los últimos años se ha vivido una fuerte sequía en las praderas donde viven los perritos del norte de México. El cambio climático contribuye a la falta de lluvia, que a su vez reduce la disponibilidad de hierbas y pastos de los que se alimentan. Los perritos pueden sobrevivir de raíces una temporada, pero si se prolongan las condiciones climáticas adversas, son pocos los individuos que las resisten. De esa manera se pueden perder colonias enteras (R. List, UAM-Lerma, com. pers.). Es por esto que la conectividad entre sitios es fundamental para que se restablezcan las colonias extintas. Esta recolonización se logra cuando perritos llaneros de colonias grandes se mueven o dispersan de una colonia a otra buscando nuevos lugares donde establecerse.

Aún estamos a tiempo de recuperar a los perritos llaneros. Lograrlo es indispensable para la permanencia de los pastizales naturales de nuestro México, en los cuales podemos encontrar especies que no se hallan en otros ambientes y que constituyen la heterogeneidad ambiental y la gran biodiversidad que hacen que México ocupe un lugar especial a nivel mundial. En este sentido, algunas acciones de conservación a corto plazo deben enfocarse en recuperar y expandir las colonias más pequeñas. A mediano y largo plazo, es indispensable fomentar un manejo adecuado de la ganadería y la agricultura en la zona para frenar la pérdida y fragmentación de las colonias más grandes. Finalmente, se requiere establecer programas de monitoreo periódico con análisis finos de ADN, de preferencia a nivel genómico; esta información permitirá ver detalles del “libro genético” de los perritos y conocer el potencial de estas poblaciones para responder a los cambios ambientales, como el calentamiento global y nuevas enfermedades.

**Gabriela Castellanos Morales** sintió curiosidad por la naturaleza desde pequeña, a tal punto que decidió estudiar la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Realizó estudios de maestría y doctorado en el Posgrado en Ciencias Biológicas en el Instituto de Ecología de la UNAM. Desde 2017 es investigadora adscrita al Departamento de Conservación de la Biodiversidad de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, donde lidera el laboratorio de Genómica para la Conservación.



Perrito llanero (*Cynomys ludovicianus*) en el Rancho "El Uno" en Janos, Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México en 2024 donde se observa que el suelo está desprovisto de vegetación debido a la intensa sequía  
Fotografía: Rurik List.

### Para saber más

- Castellanos-Morales, G. et al. (2014) Genetic variation in a peripheral and declining population of black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) from Mexico. *Journal of Mammalogy* 95 (3): 467-479.
- Castellanos-Morales, G. y Eguiarte, L. E. (2020). Integration of population genetics and ecological data for conservation: the case of the black-tailed prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) in Mexico. En: J. Ortega y J. E. Maldonado (eds.). *Conservation genetics in Mammals*. Springer.
- Ceballos, G. et al. (1993). Distribution and conservation status of prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) in Mexico. *Biological Conservation* 63 (2): 105-112.
- México-SEMARNAT. 2018. Programa de acción para la conservación de las especies perrito llanero de cola negra (*Cynomys ludovicianus*) y perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*).



## Un misterio evolutivo: abejas metálicas y de orquídeas

Clementina Equihua Z. y Luis E. Eguiarte

Cualquiera imaginaría que el color de las abejas varía poco. Pensamos en ellas con rayas negro y amarillo, aunque a nadie le parecería raro que fueran casi negras, cafés o tal vez de algún tono de amarillo. Es fácil asumirlo si consideramos que nuestra imagen de “abeja” es la de la especie que los humanos hemos movido por todo el mundo. Obviamente, nos referimos a las abejas *Apis mellifera*, la especie que produce miel, a veces llamadas abejas europeas y domesticadas desde hace más de ¡5 mil años!

Para cambiar esa imagen simplificada y errónea, es útil considerar que si existen actualmente alrededor de 20 mil especies de abejas, sería imposible que todas fueran idénticas o de tan poca variación cromática. Técnicamente, las abejas son el clado o grupo Anthophila de la superfamilia Apoidea, del orden Hymenoptera, un grupo de insectos que también incluye hormigas, avispas y otros con características similares. Así que no es sorpresa que haya muchísima variación entre especies de abejas: algunas son pequeñas, de apenas un par de milímetros de largo, como *Perdita minima* (una abeja minera que vive en los desiertos de Norteamérica), y otras de hasta casi cuatro centímetros. La abeja más grande es *Megachile pluto*, una abeja cortadora de hojas de Indonesia cuyas hembras llegan a medir 3.8 cm de largo. En México hay muchas abejas carpinteras, conocidas comúnmente como jicotes, del género *Xylocopa*. Las hembras de algunas de sus especies pueden llegar a ser de hasta 3.2 cm largo, como por ejemplo *X. fimbriata*.

Las y los especialistas distinguen las especies de abejas por diversas características morfológicas, que pueden ser muy técnicas y difíciles de dominar (recomendamos *A Beginner's Field Guide to Identifying Bees*, de la Universidad Estatal de Colorado, EUA, una introducción sencilla para entomólogos amateur), pero una que todos podemos reconocer es la coloración. Alrededor de 300 especies de abejas en nuestro continente tienen colores tan brillantes



*Perdita minima*. Fotografía obtenida de Wikimedia Commons

que parecen de metal. Estas abejas “metálicas” pertenecen a varios grupos taxonómicos independientes. Uno de ellos es el género *Agapostemon*, con alrededor de 42 especies de abejas más bien pequeñas (de 0.6 a 1.45 cm de largo) que viven exclusivamente en el continente americano. En zonas tropicales de todo el mundo las abejas de los géneros *Augochlora* y *Augochlarella* (en la familia Halictidae) también son de apariencia metálica y también son pequeñas (0.45 a 0.9 cm de largo), con unas 116 y 18 especies, respectivamente. Todas ellas son parte del grupo de abejas que recolectan sudor, por eso en inglés se les denomina *sweat bees*. En México, y hasta el norte de Argentina, vive el espectacular grupo de las abejas metálicas de las orquídeas, que pertenecen al género *Euglossa* y a la misma familia Apidae de la abeja europea. No es difícil ver a estas abejas si sabes dónde hacerlo, ya que llegan por montones a visitar puestos con plantas de orquídeas en mercados rurales, por ejemplo, en el estado de Veracruz.

### Visitantes de orquídeas

Las abejas metálicas de las orquídeas, como lo dice su nombre común, visitan plantas de este grupo (Orchidaceae), aunque como vamos a ver, de maneras complicadas. Su nombre, *Euglossa*, viene del latín “lengua verdadera” y hace referencia al tamaño de su lengua, que puede ser hasta dos veces el largo de su cuerpo (de 0.8 hasta cerca de 3 cm). El color de estas abejas es de tonos metálicos verdes, azules, color bronce y en ocasiones café o café rosáceo. Todas las especies de *Euglossa* solo viven en la América tropical, principalmente en las selvas lluviosas.

### Hymenóptera

Es uno de los órdenes más numerosos de insectos, que se caracterizan por tener dos pares de alas membranosas unidas por ganchos que baten sincronizadamente, y poseen un agujón al final de su abdomen que utilizan para inmovilizar a su presa.

En el artículo *Biology of the orchid bees (Euglossinae)* de 1982, Robert Dressler, uno de los grandes estudiosos de la biología de las orquídeas, explicó que, a pesar de sus llamativos colores, se sabía muy poco de las abejas metálicas. Una de las razones, decía, es que solamente se les ve cuando visitan una orquídea en floración (en general son insectos muy poco comunes, por eso sorprende cuando la gente sabe de ellas) o durante su rápido vuelo, por lo que es difícil atraparlas y verlas (por eso a veces la gente piensa que son moscas). Para estudiarlas usualmente se atraen con fragancias, como el aceite de eucalipto (así las conoció Luis en un curso de campo). La situación no ha mejorado mucho en 42 años: siguen siendo poco estudiadas.

Estas abejas son principalmente solitarias. Cuando forman pequeñas colonias, no hay división del trabajo, es decir, no hay reinas ni obreras, como entre las abejas europeas. También se sabe que algunos géneros de su tribu (Euglosini) parasitan los nidos de otras abejas (son *cleptoparásitas*, es decir, ponen sus huevos en los nidos de otras abejas). Las hembras recolectan polen y néctar como alimento para sus huevos y larvas, así como lodo y resinas para hacer su nido. La mayoría de los machos visita las orquídeas. Muchas orquídeas no producen néctar y su polen no es útil para las abejas debido a su forma de polinios, que son aglomeraciones compactas de polen que lo hacen inaccesible para el consumo. Los machos de *Euglossa* son atraídos por el aroma de las flores de ciertas orquídeas. En los trópicos de América hay unas 625 especies de orquídeas que producen aromas que las abejas pueden percibir hasta a un kilómetro de distancia.

Según Dressler —en el mismo artículo de 1982— los machos de las abejas metálicas aparecen como por magia y en grandes números cuando florece la orquídea adecuada para ellos. No visitan las flores para polinizarlas, pero permanecen durante mucho tiempo en ellas y más bien las polinizan sin querer. Dressler reportó que para ese año ya estaba bien documentado que los machos recolectan aromas de la flor utilizando estructuras especializadas en sus patas (en 2016, Peter W.H. Holland describió

el comportamiento en un artículo para la *Revista Brasileira de Entomologia*, véase <http://dx.doi.org/10.1016/j.rbe.2015.02.008>). Esto provocó una coevolución de mecanismos de polinización muy complicados que en algunos casos implican, por ejemplo, que la abeja acabe cayendo dentro de la flor (que funciona como una trampa, véase el video *An Orchid's Trap*, de *Nat Geo Animals*, en <https://youtu.be/uHJGdTgtXE?si=3vLmXiDAkV5VIV6w>). La abeja que cae en la trampa hace todo lo posible por salir de ella, pero la única forma de lograrlo es atravesar el lugar en el que están los polinios. Cuando la abeja finalmente emerge de la flor, se lleva los polinios adheridos en la parte dorsal del abdomen o en otra parte (según la especie de orquídea) usualmente inaccesible para la abeja, por lo que no se los puede quitar. Así, cuando la abeja visite otra flor de la misma especie deposita el polen de la primera y ¡completa la polinización!

### Recolectores de aromas

A diferencia de otras abejas, los machos de las *Euglossa* solo buscan las fragancias de las orquídeas. En el mismo *Biology of the orchid bees...* (p. 387), Dressler describió el proceso de recolecta de perfume de las abejas metálicas. Específicamente, dice que los brillantes insectos aterrizan sobre la superficie de las estructuras de la flor que producen el perfume y luego, con el tarso de sus patas delanteras, cepillan la superficie. Después de que recogen el perfume, las abejas revolotean y pasan las gotas de aroma hacia las patas de atrás, y ahí lo almacenan en unas estructuras especiales. La recolección es complicada, por eso las abejas se mantienen durante mucho tiempo cerca de la flor, a veces aterrizando sobre ella para percibir y extraer las fragancias y a veces revoloteando cerca.

Se han identificado con análisis químicos hasta 83 compuestos diferentes producidos por las orquídeas de este tipo. Aunque se desconoce la estructura química de muchos de esos compuestos, algunos de sus aromas son sorprendentes para el olfato humano. Por ejemplo, Clementina tiene una orquídea del género *Lycaste* que florece cada primavera y perfuma su casa con aroma



Abeja *Euglossa* visitando orquídea *Mormodes tezonile* originaria de Jalisco y Michoacán en el orquideario Miguel Ángel Soto de la Facultad de Ciencias UNAM. Fotografía : Eduardo A. Pérez García.



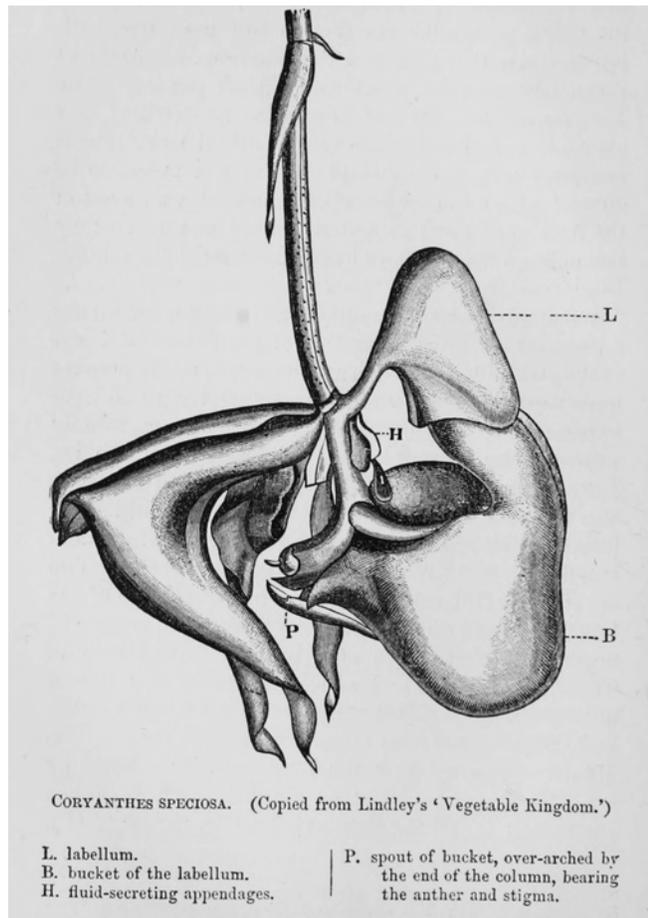


Ilustración obtenida del libro: Darwin, C. (1877). *The various contrivances by which orchids are fertilised by insects* (2nd ed., rev.). London: John Murray.

de canela. Es precisamente gracias a que ahora se conoce más de los compuestos aromáticos que producen las orquídeas que se ha logrado atraer a las *Euglossas* para estudiarlas mejor. Pero el esfuerzo por conocer más de estos insectos ha llevado más de 40 años de investigación, sin considerar que ya desde el siglo XIX Darwin describió ese tipo de polinización en orquídeas del género *Coryanthes* en *The various contrivances by which orchids are fertilised by insects* (pp. 173-177 de la 2ª edición).

### El aroma de las flores

En el mismo "Biology of the orchid bees...", Bob Dressler estimó que en la región tropical de nuestro continente existen alrededor de 55 géneros y 625 especies de orquídeas que producen flores aromáticas y todas atraen abejas que son sus polinizadoras. ¿Pero para qué usan las abejas macho el perfume que recolectan? Inicialmente se pensó que el aroma almacenado en las patas traseras se mezclaba con otras cosas, entre ellas material vegetal en descomposición. También se especuló que tal vez modifican la estructura molecular de los aromas y que toda esa mezcla química servía como feromonas para atraer a las hembras para aparearse, sobre todo si se considera que son especies poco frecuentes, soli-

tarias y las selvas donde viven son grandes y oscuras (dificultando los encuentros reproductivos). Sin embargo, aunque se sabe que los machos liberan estos aromas en lugares del sotobosque —donde tienen sus sitios de apareamiento, la evidencia de que realmente usen esas supuestas feromonas para atraer a las hembras es casi nula, aunque en 2023 Jonas Henske y coautores (<https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.03.060>) demostraron que los perfumes que captura la abeja *Euglossa dilemma* sí incrementan su éxito reproductivo.

En artículos de 1999 y 2003, el orquideólogo Mark Whitten y un grupo de entomólogos consideraron que los machos de las *Euglossas* invierten tiempo y esfuerzo en recolectar las fragancias para "demostrarle" a las hembras que son saludables y fuertes, o sea que representa un caso del llamado "principio del handicap", de Amotz Zahavi, en la selección sexual. En otras palabras, les dicen: "mira, mis genes son tan buenos que pude hacer todo este trabajo y conseguir estos exóticos aromas, y voy a pasarle estos "supergenés" a nuestros hijos", o algo así, ustedes entienden la metáfora. Whitten y colaboradores dicen que esto, lo de recolectar aromas complejos para competir por aparearse, es único en el reino animal.

Indudablemente las *Euglossas* y las orquídeas que polinizan, principalmente de las subtribus Catasetinae y Stanhopeinae, representan un increíble ejemplo de adaptación y coevolución.

### Cambio climático y más...

Por desgracia, estas fascinantes abejas están padeciendo los embates de la transformación de los ecosistemas y del cambio climático, como lo ilustra la investigación reciente. Por ejemplo, Frederico Valtuille Faleiro, André Nemesio y Rafael Loyola (<https://doi.org/10.1111/gcb.14112>) usaron modelos matemáticos para predecir que con el cambio global disminuirá la abundancia de abejas de las orquídeas. En una investigación realizada entre 2013 y 2017 en Panamá, Álvaro Vega-Hidalgo y colaboradores documentaron que la abundancia y diversidad de las poblaciones de *Euglossas* decreció de forma alarmante en solo cinco años.

En un estudio sorprendente publicado en abril de 2024 en la revista *Florida Entomologist*, Robert W. Pemberton y James T. Kindt observaron que individuos de *Euglossa dilemma*, una

#### Principio de "handicap"

Es una hipótesis propuesta originalmente en 1975 por el biólogo Amotz Zahavi para explicar cómo la evolución puede hacer que se produzcan señales de buenas intenciones entre animales que tienen una motivación obvia para engañar al otro o para engañarse mutuamente. Estas características, comportamientos o incluso estructuras, evolucionan por selección sexual y actúan como señales de las condiciones del individuo. Le ayudan por ejemplo a atraer a posibles parejas



especie naturalizada en Florida, recolectan compuestos volátiles de superficies impregnadas con el herbicida triclopyr, que se utiliza en la agricultura. Aunque explican que estos compuestos químicos no las dañan, queda la incertidumbre de si no podrían recolectar otros que sí lo hagan.

Urge estudiar y entender mejor a estas fascinantes criaturas. Además de su singular belleza, ejemplifican procesos coevolutivos y de radiación adaptativa de una manera sorprendente. Seguramente aún conservan muchos misterios evolutivos que sin duda nos sorprenderán.

**Clementina Equihua** es Subdirectora de Educación, Capacitación y Divulgación de la Sustentabilidad de la CoUS, UNAM. Es experta en divulgación y periodismo de ciencia. Colabora para medios como Radio UNAM y diversos medios escritos. Desde 2012 es Técnico Académico del Instituto de Ecología de la UNAM y asistente editorial en *Oikos*.

**Luis Eguiarte** es investigador del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Departamento de Ecología Evolutiva. Estudia la ecología y evolución de las plantas, bacterias y animales de México, usando marcadores genéticos. Es editor de *Oikos*.

### Para saber más

- Dressler, R. 1982. Biology of the orchid bees (Euglossini). *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 373-394. <https://www.jstor.org/stable/2097073>
- Eltz, T., W.M. Whitten, D.W. Roubik y K. E. Linsenmair. 1999. Fragrance Collection, Storage, and Accumulation by Individual Male Orchid Bees. *Journal of Chemical Ecology* 25: 157-176. <https://doi.org/10.1023/A:1020897302355>
- Eltz, T., D.W. Roubik y M.W. Whitten. 2003. Fragrances, male display and mating behaviour of *Euglossa hemichlora*: a flight cage experiment. *Physiological Entomology* 28: 251-260. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2003.00340.x>
- Mason, L., B. Sayre-Chavez, C. O'Brien y A. Seshadri. 2022. *Beginner's Field Guide to Identifying Bees*. Colorado State University Extension y USDA. <https://tinyurl.com/36bd8pmw>
- Pemberton, R.W. y T.K.J.T. Kindt. 2024. Orchid bee collects herbicide that mimics the fragrance of its orchid mutualists. *Florida Entomologist* 107(1): 20240013 <https://doi.org/10.1515/flaent-2024-0013>
- Vega-Hidalgo, A., Y. Añino, E. Krichilsky, A.R. Smith, A. Santos-Murgas y D. Gálvez. 2020. Decline of native bees (Apidae: Euglossa) in a tropical forest of Panama. *Apidologie* 51: 1038-1050. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00781-2>.

**Rastros moleculares: claves para entender el origen y evolución de la vida en el Universo**
**Erik Eduardo Aguilar-Vaca y María Colín-García**

¿Ha surgido vida en otros lugares del universo? ¿Cómo se originó la vida en la Tierra? Estas son dos preguntas que hasta la fecha seguimos tratando de responder desde la ciencia.

Es obvio que la Tierra actual tiene las condiciones adecuadas para que la vida prospere. Sin embargo, durante sus primeros 2 mil millones de años lidió con condiciones insoportables para la mayoría de los organismos multicelulares actuales, como hongos, animales y plantas. La Tierra tiene una edad aproximada de 4.5 mil millones de años, mientras que para el origen de la vida en este planeta se estima que ocurrió hace 3.8 mil millones de años. En otras palabras, la vida tardó menos de mil millones de años en formarse en la Tierra, algo sorprendente porque en una escala geológica representa muy poco tiempo. Aun con las condiciones extremas de la Tierra primitiva, y los cambios que han ocurrido durante miles de millones de años en la corteza y atmósfera terrestres, se ha logrado documentar evidencia de la vida en ese tiempo.

En primer lugar, queremos recalcar que todo ser vivo deja un rastro, desde su nacimiento hasta su muerte. Los rastros pueden ser degradados por otros organismos o por el medio fisicoquímico gracias a procesos que se llaman en conjunto intemperismo. Sin

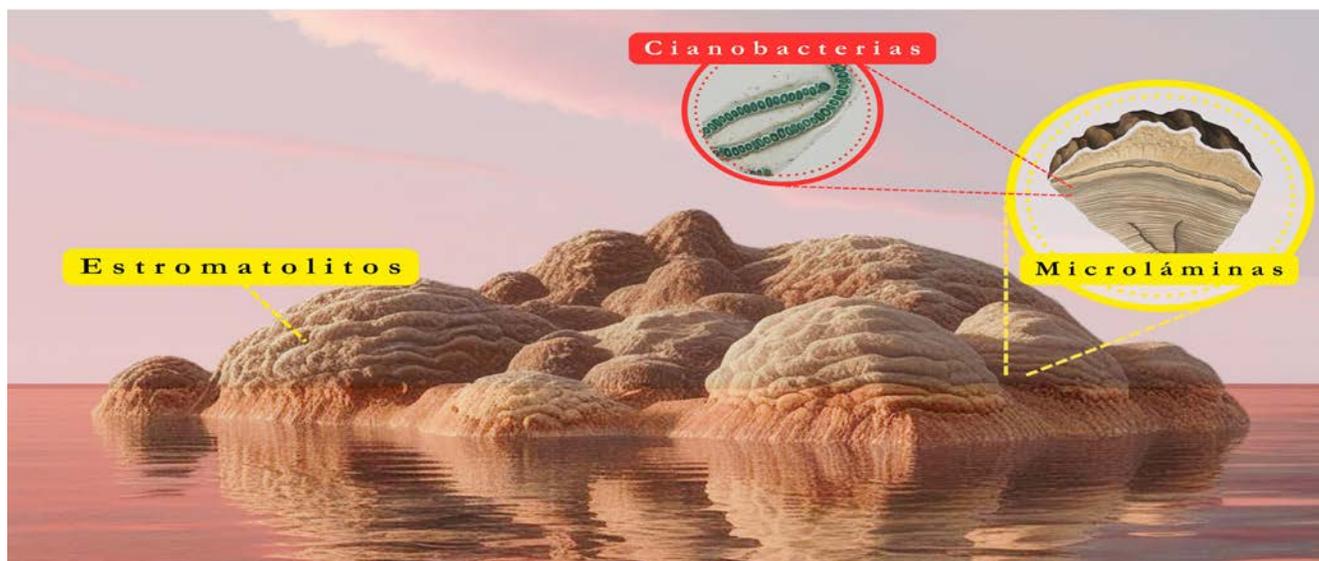
**Astrobiología**

Disciplina científica que busca, mediante el uso de métodos de otras ciencias como la física, química y biología, estudiar el origen y evolución de la vida en la Tierra y determinar si ésta pudo surgir en otros lugares en el universo.

embargo, cualquier rastro puede permanecer por días, meses, años, incluso por miles de millones de años. Los rastros que dejan los seres vivos van desde cortezas de árboles, hojas, frutos o raíces de plantas, huesos de vertebrados o exoesqueletos de artrópodos, hasta el cuerpo entero, como es el caso de muchos fósiles, restos de organismos cuya composición química es sustituida por minerales que pueden persistir largos periodos. Como no siempre hay evidencia directa de la forma o movimiento de un organismo, usamos diferentes pruebas que demuestran algún tipo de actividad biológica; esas otras evidencias se denominan biofirmas.

**Entendiendo las biofirmas, biomarcadores y bioseñales**

Para buscar indicios de vida del pasado o el presente en la Tierra u otras partes del universo usamos indicadores físicos o químicos



Los estromatolitos son estructuras rocosas que se forman por la acumulación en microláminas de microorganismos como cianobacterias, sedimentos y minerales como carbonato de calcio en ambientes acuosos someros. Imágen: Erik Eduardo Aguilar Vaca.



### Ambiente extremo

Son ambientes cuyas condiciones exceden (por ser muy altos o muy bajos) los límites de tolerancia de la mayoría de los organismos. Pueden ser muy evidentes, como las temperaturas muy altas, superiores a 50°C (como en los desiertos o chimeneas hidrotermales) o muy bajas, inferiores a 0°C (como en los glaciares o los polos). Esas condiciones también incluyen una alta concentración de sales, como la que hay en el mar Muerto o las salinas, pero también pueden ser condiciones no tan evidentes, como la intensa radiación (en zonas altas en montaña o en residuos radiactivos). Solo organismos especializados, conocidos como extremófilos por su capacidad para sobrevivir en esos ambientes, pueden habitar en ellos (p. ej., hongos, bacterias y arqueas).

Otras condiciones terrestres extremas no tan evidentes son: ambientes muy ácidos (con pH = 0.5), como en el río Tinto, España; ambientes muy alcalinos, como el lago cráter de Alchichica, México (pH = 9); presiones muy bajas, de  $10^{-12}$  bar (un millón de millones de veces menor a la presión de 1 bar a nivel del mar), como ocurre en la Estación Espacial Internacional (ISS por sus siglas en inglés), que está a 400 km de altitud, donde también hay temperaturas de -250°C; presiones enormes de 1250 bar, como en el fondo oceánico, donde hay chimeneas hidrotermales, o en la Fosa de las Marianas, en el océano Pacífico, a 11 km de profundidad y donde además se alcanzan temperaturas de alrededor de 130°C, e incluso bajo altas dosis de radiación ionizante, como la que recibe la ISS o en las zonas de desastres nucleares como Chernobyl y Fukushima. Los desiertos, que ocupan alrededor de 30% de la superficie de la Tierra, también son ambientes extremos, con temperaturas que van de los -10°C a los 70°C en la superficie, escasez de agua y altas concentraciones de sales, como ocurre en los desiertos de Atacama, Chile, o en los desiertos de Chihuahua y Sonora en México.

conocidos técnicamente como biomarcadores, biofirmas y bioseñales. En “Deciphering Biosignatures in Planetary Contexts”, Marjorie A. Chan y colaboradores ([doi: 10.1089/ast.2018.1903](https://doi.org/10.1089/ast.2018.1903)) explican que estos indicadores son útiles en astrobiología y paleontología para identificar la existencia de vida en el pasado en algún punto de interés. Las biofirmas, biomarcadores y bioseñales se pueden usar para estudios en la Tierra o en otros mundos; además de los rastros, incluso se podrían considerar moléculas y compuestos presentes en la atmósfera de otros planetas (por ejemplo Marte), así como en muestras de superficies de cometas o asteroides.

### ¿Qué son las biofirmas?

Una biofirma es cualquier evidencia (química o física) inequívoca y científicamente demostrable de actividad biológica. Podemos definirla como un objeto, sustancia o patrón cuyo origen requiere específicamente un agente biológico para formarse. Por otra parte, un biomarcador es cualquier molécula indicadora de la presencia de vida en el pasado o presente. Como en ocasiones el origen biológico de lo que se analiza coincide con un organismo particular, surge la idea de que biofirma molecular es sinónimo de biomarcador. En este artículo nos referiremos al término biofirma para mencionar cualquier evidencia de vida; el prefijo bio indica que su origen es biológico y firma que es una evidencia de su actividad. Para detectar biofirmas requerimos diferentes herramientas y métodos, por lo que también las biofirmas se pueden conocer por otros nombres (biomarcadores o bioseñales), dependiendo del método de detección.

### Estromatolitos como biofirmas

En cuerpos de agua poco profundos, como lagunas costeras o lagos salados, se han formado estructuras rocosas con microorganismos llamadas microbialitas. La parte viva se compone principalmente de bacterias y cianobacterias (bacterias que pueden hacer fotosíntesis). Durante la fotosíntesis, las cianobacterias absorben  $\text{CO}_2$  del agua, lo que reduce la acidez y permite que el carbonato de calcio (un mineral presente en el agua) se acumule alrededor de ellas. Con el tiempo, estos microorganismos continúan creciendo hacia arriba, dejando debajo capas muy finas de carbonatos de calcio, como si se apilaran hojas de papel, ya sin vida, lo que conocemos como estromatolitos.

Este proceso es tan lento que puede tomar miles de años para formar unos centímetros de láminas. Los más antiguos que se conocen tienen hasta 3.5 mil millones de años. Actualmente podemos encontrar estromatolitos y microbialitos en diferentes sitios de México, algunos de los más conocidos están en Cuatro Ciénegas (Coahuila), la laguna de Alchichica (en los límites de los estados de Puebla y Veracruz), y la laguna de Bacalar (Quintana Roo) (véase “¿Qué son los estromatolitos?”, en *Oikos*= 2).

### Biofirmas en la Tierra y en otros lados

La búsqueda de vida —tanto en ambientes extremos terrestres como en otros lugares del sistema solar o del Universo— implica la identificación de biofirmas que sean indicadores inequívocos de actividad biológica. Esa búsqueda en la Tierra se ha enfocado en estudiar biofirmas detectables en ambientes extremos. También buscamos descubrir biofirmas afuera de nuestro planeta, y para hacerlo debemos conocer bien cómo se manifiestan todas estas evidencias de la vida como la conocemos. Por esto se han estudiado biofirmas directamente en la superficie de la Tierra, y con base en ese conocimiento se buscan en la superficie de Marte, la Luna, asteroides, cometas e incluso exoplanetas lejanos.

### Biofirmas y biomarcadores en superficies

Como mencionamos antes, los biomarcadores son cualquier evidencia molecular de origen exclusivamente biológico. Son moléculas que están presentes en cualquier proceso metabólico de un



organismo (pero que no se producen de manera abiótica), desde su concepción hasta su muerte, como carbohidratos, ácidos nucleicos (ADN o ARN), aminoácidos y lípidos.

De hecho, cotidianamente en paleontología y astrobiología usamos análisis de biomoléculas (al igual que los análisis de laboratorio que nos prescriben para monitorear el estado de salud) que dan información de lo que ocurre durante la vida de un organismo (incluidos nosotros mismos). Estas moléculas pueden indicar incluso si hay o hubo infección por bacterias, plantas, animales u hongos.

Nuestro planeta es muy dinámico, por lo que su superficie es cambiante. No todos los biomarcadores son estables en el tiempo geológico. Por ejemplo, el ADN, ARN y los carbohidratos generalmente permanecen poco tiempo en un sedimento, aunque en ciertas condiciones pueden perdurar durante cientos o hasta miles de años. Se han identificado algunos aminoácidos en meteoritos y muestras de asteroides, aunque no son considerados biomarcadores debido a que no tienen un origen biológico. Por ejemplo, en las muestras del asteroide Ryugu tomadas por la misión Jaxa Hayabusa 2 (<https://science.nasa.gov/mission/hayabusa-2/>) se encontraron 24 aminoácidos y urea. El asteroide tiene una edad estimada de 4,600 millones de años, ¡la misma que nuestro sistema solar! Estos aminoácidos, aunque coinciden en todos los seres vivos terrestres, no son prueba suficiente de la existencia de vida en el espacio exterior.

Los lípidos (grasas) son considerados los mejores biomarcadores para ambientes muy antiguos porque permanecen identificables por miles de millones de años incluso en ambientes extremos. En efecto, la evidencia más antigua de lípidos —que nos indica sin lugar a duda la presencia de cianobacterias— es de hace 1.8 mil millones de años, pero no se ha encontrado evidencia de ellos en el espacio exterior.

### Las firmas isotópicas

Estas firmas son variaciones en la abundancia de isótopos de elementos como el carbono, el nitrógeno, el azufre y el oxígeno. Las variaciones indican que pueden tener su origen en procesos biológicos, químicos o físicos. Las de origen biológico se distinguen porque los seres vivos tienden a fraccionar los isótopos de una manera distinta respecto de los procesos abióticos y se manifiestan cuando se comparan muestras de organismos actuales con muestras geológicas o atmosféricas; el resultado es una proporción diferente de isótopos ligeros y pesados, como lo explicaremos más adelante.

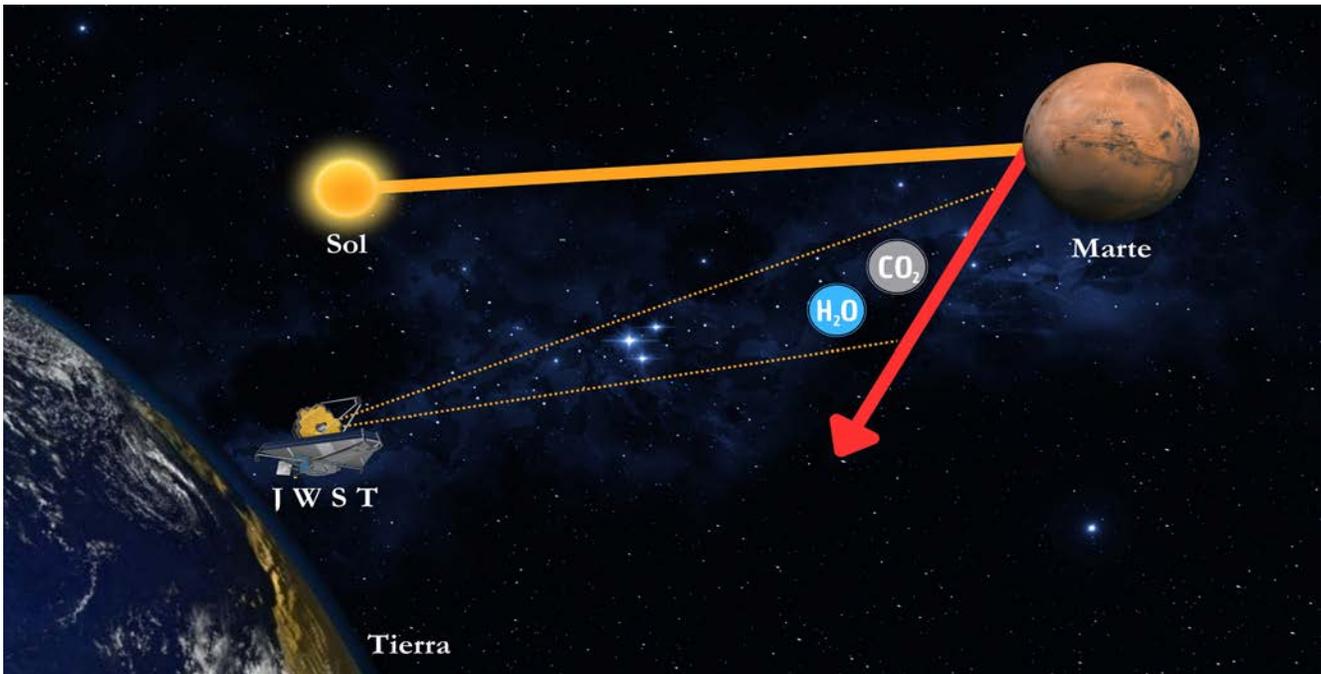
Las biofirmas isotópicas pueden ser detectadas en materiales fósiles, minerales y sedimentos, lo que ha permitido rastrear la actividad biológica en la Tierra hasta miles de millones de años. Por ejemplo, los microorganismos fotosintéticos —como las cianobacterias— prefieren usar el CO<sub>2</sub> con el isótopo <sup>12</sup>C y no con <sup>13</sup>C durante la fotosíntesis, aparentemente porque requieren menos energía para romper y formar los enlaces químicos. Como resultado, cuando fraccionan los isótopos del carbono, los compuestos orgánicos que producen tienen mayor abundancia del isótopo <sup>12</sup>C que <sup>13</sup>C. Lo más interesante para nosotros es que actualmente es posible identificar de forma remota la fragmentación isotópica, como veremos en la siguiente sección.

### Los fósiles y biominerales como bioseñales

Como mencionamos arriba, los fósiles son evidencia morfológica y geoquímica de vida pasada que se ha conservado durante un periodo mayor a diez mil años (más allá del Holoceno). Los más comunes se distinguen a simple vista, por ejemplo, los fósiles de huesos de dinosaurios, las amonitas, los troncos de árboles petrificados, etc. Su forma y composición química pueden ofrecer información de los organismos, como su distribución, organización y tamaño, e incluso indicar cómo se movían; estos rastros, que no incluyen el cuerpo fosilizado, se llaman icnofósiles.



Detección de biofirmas. En la Tierra hay muchos sitios con ambientes extremos, como los desiertos. A partir de una muestra de las rocas y mediante diversos análisis en laboratorio podemos identificar biofirmas como biomarcadores (ADN, o lípidos) y fósiles. Imágen: Erik Eduardo Aguilar Vaca.



DetECCIÓN REMOTA. El Telescopio Espacial James Webb (JWST, por sus siglas en inglés) puede medir la intensidad de la luz del Sol reflejada sobre la superficie de Marte para identificar la firma espectral particular de los compuestos que están en su atmósfera, como el agua (H<sub>2</sub>O) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Imagen: Erik Eduardo Aguilar Vaca.

Un hueso o una hoja fosilizados son reconocidos como biofirmas por su tamaño y forma. También podemos identificar microfósiles, como conchas de moluscos, protistas o polen de plantas vasculares. Otro caso particular de fósiles, como mencionamos arriba, es el de los estromatolitos.

Por otro lado, la actividad biológica no solo deja huellas moleculares, sino que a veces las evidencias son inorgánicas. Los biominerales que forman los organismos pueden acumularse en depósitos de sedimentos y conservarse como evidencia fósil. El carbonato de calcio es un mineral común en la corteza terrestre, pero la forma en que se precipita debido al crecimiento de algunos animales —como los corales— deja una huella específica. Los minerales producidos por organismos están asociados normalmente a moléculas orgánicas (que pueden considerarse como biomarcadores) y sus formas son distintas a las de los minerales. Las concentraciones inusuales de carbonatos suelen asociarse a ambientes marinos antiguos que, junto con evidencias isotópicas y la presencia de fósiles (p. ej., conchas), dan indicios de que pudieron existir diversos organismos, como corales, moluscos, etc.

En ambientes hipersalinos, como el lago Mono (California) ([https://www.parks.ca.gov/?page\\_id=514](https://www.parks.ca.gov/?page_id=514)), ocurre una acumulación de sulfato de calcio que resulta del metabolismo de las bacterias. Algo similar encontró el rover Perseverance (que se encuentra explorando el cráter Jezero en Marte) (<https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/>), que el 21 de julio de 2024 detectó una concentración inusual de sulfatos de calcio, además de morfologías particulares sobre estas rocas que podrían ser indicadoras de una biofirma. Para confirmar el origen

de esta intrigante acumulación de azufre será indispensable analizar las muestras tomadas por el Perseverance aquí en la Tierra.

### Biofirmas remotas: gases, pigmentos y señales isotópicas

La detección de moléculas y gases en la atmósfera de planetas, dentro de la llamada zona habitable, que se encuentran en otros sistemas estelares ha sido útil para estudiar biofirmas remotas. Su identificación requiere técnicas espectroscópicas y otras empleadas por telescopios espaciales como el Hubble, el James Webb (<https://science.nasa.gov/mission/webb/>) y el Extremely Large Telescope (<https://elt.eso.org/>).

La composición atmosférica de la Tierra primitiva y la actual es la guía para buscar biofirmas en forma de gases. Son de particular interés astrobiológico los gases producidos por los organismos terrestres y que podemos detectar con nuestros satélites en órbita, como el oxígeno, ozono, metano, óxido nítrico, gases de azufre y cloruro de metilo.

Por ejemplo, el oxígeno gaseoso o molecular (O<sub>2</sub>) es muy abundante en nuestra atmósfera y sus principales productores son los organismos fotosintéticos, pero es raro encontrarlo en nuestro planeta como oxígeno atómico (O). En otros planetas, como Marte y Venus, se ha detectado oxígeno atómico, por lo que el oxígeno por sí mismo es insuficiente para ser considerado biofirma.

Los pigmentos fotosintéticos también se han considerado como biofirmas, ya que son evidencia clara de actividad fotosintética lo suficientemente abundante como para ser detectada. Una biofirma muy empleada en estudios ambientales para determinar biomasa y cobertura vegetal es el “borde rojo” o VRE (de *Vegetation Red-Edge*). El VRE se caracteriza por estar al borde del espectro de

### Habitabilidad y zona habitable

La habitabilidad se refiere a las condiciones que posibilitan la existencia de vida, incluyendo la presencia de agua líquida, fuentes de energía y elementos esenciales. La zona habitable es la región alrededor de una estrella en que un planeta podría mantener agua líquida en su superficie, que es esencial para la vida en la Tierra. Para una estrella como el Sol, la zona habitable está aproximadamente entre 0.95 y 1.37 unidades astronómicas (UA), donde 1 UA (149.6 millones de kilómetros) es la distancia promedio entre la Tierra y el Sol. Marte y la Tierra están en esta zona, Venus está en el borde interno de esta zona.

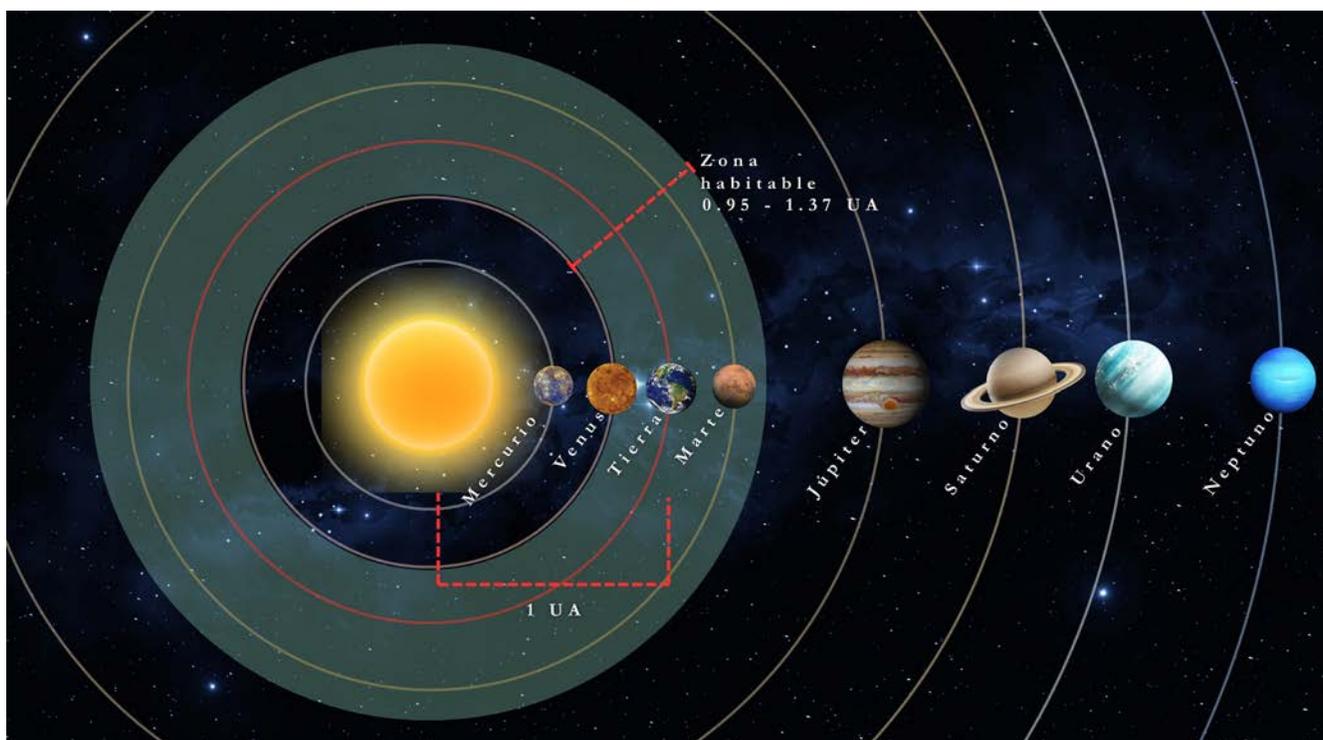
luz visible y del infrarrojo, de ahí su nombre. Sin embargo, todavía no se ha registrado ningún pigmento VRE en otros planetas. El que se ha detectado proviene de la Tierra, principalmente de plantas vasculares, como los árboles, por eso es muy poco probable que, si hay vida en otros mundos, las señales coincidan. La explicación es que sería difícil que los organismos evolucionaran de forma convergente, es decir, que también existan organismos fotosintéticos que usen los mismos pigmentos y que, por lo tanto, emitan esta biofirma característica.

Hay otros pigmentos llamativos por su color púrpura, cuyo origen es mucho más antiguo que la clorofila de las algas clorofilas. Estos pigmentos púrpuras son producidos por algunas bacterias y

arqueas que los utilizan para fabricar energía en forma de ATP, algo similar al papel que juega la clorofila en algas o plantas. A pesar de que estos organismos no son abundantes en la Tierra, constituyen uno de los grupos más interesantes para su posible detección.

La exploración y búsqueda de estas biofirmas es posible gracias a herramientas como el James Webb Space Telescope (JWST), el observatorio más grande que se haya diseñado y que tiene un sistema de detección muy sensible con el que se puede analizar la composición atmosférica de planetas con una altísima precisión y en un rango más amplio del espectro electromagnético. El telescopio JWST es capaz de detectar biofirmas potenciales, como ozono, oxígeno y pigmentos fotosintéticos (como los púrpuras), que con otros telescopios, como el Hubble, eran muy difíciles de observar.

Para identificar firmas isotópicas de forma remota, los satélites y telescopios espaciales utilizan espectroscopios. Estos equipos analizan la luz reflejada, dispersada o emitida por un objeto para determinar su composición tanto química como isotópica. Cada átomo o grupo de átomos interacciona con la luz de manera específica; el espectroscopio registra y detecta estas variaciones y luego se genera una línea con bandas, llamada espectro, que indica en qué zonas el objeto absorbe o emite energía. Este espectro es distinto y varía de acuerdo con la composición química del material del que proviene. Al igual que para la detección de gases y pigmentos, las firmas isotópicas nos ayudan a identificar la composición química de la atmósfera terrestre y de otros planetas.



La zona habitable en un sistema solar se establece considerando la distancia desde la estrella central (en nuestro sistema es el Sol), para determinar primero si es posible que exista agua líquida en los planetas.

Imágen: Erik Eduardo Aguilar Vaca.



Por ejemplo, la relación  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  medida en la atmósfera de Titán —una de las lunas de Saturno— es aproximadamente 8% menor que la de la Tierra (de 88.9%), lo que sugiere que Titán podría haber experimentado el fraccionamiento de dichos isótopos (<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2018.11.029>) debido a procesos relacionados con su interacción con la radiación ultravioleta solar o a procesos de evolución atmosférica. Así, la medición de isótopos mediante técnicas de detección remota también es útil para estudiar atmósferas extraterrestres sin la necesidad de obtener muestras directas.

### Biofirmas en ambientes extremos: en la Tierra y en otros mundos

Saber que la Tierra fue, hace casi 2 mil millones de años, un ambiente hostil para los primeros seres vivos ha llevado a la comunidad científica a suponer que sería posible encontrar vida capaz de soportar condiciones extremas en otros mundos.

Debido a que la vida en la Tierra surgió tan temprano en el tiempo geológico y que aquí se han descubierto microorganismos capaces de sobrevivir en condiciones extremas (como altas y bajas temperaturas, alta salinidad, pH bajo o elevado, etc.), se puede suponer que hay más posibilidades para buscar vida, por ejemplo, en exoplanetas con ambientes extremos —similares a los que hay en la Tierra—, y no sólo en exoplanetas con ambientes tan benévolos como los que habitamos los humanos.

Es muy poco probable encontrar biofirmas como el VRE porque implicaría que en otros mundos el curso evolutivo ha sido similar (por varios millones de años), a tal grado que se puede ver la misma firma que en la Tierra. Por esto, es de gran interés para las y los astrobiólogos estudiar los microorganismos extremófilos y entender cómo sobreviven a esos ambientes, además de identificar las biofirmas que dejan como rastro.

En nuestro sistema solar, sólo la Tierra está completamente dentro de la zona habitable, mientras que Marte y Venus están en los bordes de esta región (<https://science.nasa.gov/resource/what-is-the-habitable-zone/>). Marte es un claro ejemplo de un ambiente extremo, y en la Tierra tenemos sitios análogos a Marte, ambientes que tienen condiciones semejantes a algunos puntos de la superficie marciana. Por ejemplo, un ambiente extremo y análogo marciano es la estación de McMurdo en la Antártida, donde hay una temperatura promedio anual de  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ —similar a los  $-63\text{ }^{\circ}\text{C}$  de Marte— y también una aridez muy similar, ya que, literalmente, nunca llueve.

Comprender cómo viven los microorganismos en los ambientes extremos nos ayuda a entender cómo se han preservado sus biofirmas y también qué herramientas se pueden usar para identificarlas. Aún nos faltan muchos ambientes extremos por estudiar que son similares a algunas de las condiciones de mundos extraterrestres. Tenemos buena idea de qué buscar en la Tierra. Sin embargo, encontrar evidencia de vida extraterrestre sigue siendo un reto. Y es que, como ya vimos, hallar evidencia contundente de ello es complicado. Si encontramos algo que parece vida, ¿cómo sabremos que lo es? ¿Qué es lo que necesitamos para buscar vida en ambientes extremos terrestres o extraterrestres?

### Nuestro estudio de biofirmas

En nuestro grupo de investigación, en el Laboratorio de Biomarcadores del Instituto de Geología en la UNAM, estamos analizando unas estructuras muy particulares llamadas barnices, una fina cubierta de óxidos de manganeso y hierro que se deposita sobre rocas de ambientes áridos. Aunque aún se desconoce qué papel juegan los microorganismos en la formación de esos barnices, por nuestras observaciones y las de otros grupos en diferentes desiertos del mundo sabemos que están habitados por bacterias y hongos. En esos



A) Toma de muestra de barniz del desierto. B) Barniz del desierto sobre rizaduras  
Fotografías: Héctor Mario Munguía Peña y Erik Eduardo Aguilar Vaca respectivamente



lugares existen muchos microorganismos a pesar de las condiciones extremas a las que están expuestos, como la escasez de agua, altas dosis de radiación, altas y bajas temperaturas, pocos nutrientes, entre otras. Nuestra propuesta inicial es explorar los barnices del desierto de Samalayuca (Chihuahua) desde una perspectiva geobiológica. Se trata de identificar los grupos biológicos que habitan esos recubrimientos e identificar su posible papel en la formación y en el intemperismo de los barnices.

¿Qué relación tiene nuestra investigación y Marte? Se han identificado rocas en la superficie de Marte que tienen un recubrimiento similar, en composición y color, a la de los barnices terrestres, por lo que se ha propuesto que estas biofirmas constituyen un ambiente análogo a Marte. En este sentido, nuestra investigación contribuirá no solo a entender un microecosistema extremo, sino también a sugerir qué biomarcadores se pueden buscar en la superficie de Marte para quizá encontrar rastros de vida pasada... ¿o presente?

#### Agradecimientos

Agradecemos el financiamiento del proyecto DGAPA-PAPIIT IN218323 “Barnices del desierto de Samalayuca, Chihuahua: caracterización y potencial astrobiológico”.

#### Para saber más

- Centro de Astrobiología (CAB). (s.f.). Grupo de Habitabilidad y Ambientes Extremos. <https://rb.gy/1sdxv4>
- Fisher, A. 2021. *Mars Is Mighty in First Webb Observations of Red Planet*. NASA James Webb Space Telescope. <https://tinyurl.com/cvv4bmve>
- Hidalgo Lara, M.E., R.M. Camacho Ruiz, M.N. Trujillo Tapia y R. A. Batista García (eds.). 2023. Manual de métodos para el estudio de extremófilos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. ISBN 978-607-8951-07-9 y DOI [10.30973/2023/manual-extremofilos](https://doi.org/10.30973/2023/manual-extremofilos)
- Saavedra, D. 2021. “Guía para buscar vida en Marte”. *Gaceta UNAM*. <https://www.gaceta.unam.mx/guia-para-buscar-vida-en-marte/>
- Saavedra, D. 2023. “Barnices del desierto mexicano podrían ser análogos para búsqueda de vida en Marte”. *Gaceta UNAM*. <https://tinyurl.com/2fyetjev>

**Erik Eduardo Aguilar Vaca** es biólogo, egresado de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias Biológicas, en el Instituto de Geología, UNAM. Se ha enfocado en estudiar ecología evolutiva. Su proyecto actual se centra en el estudio del microambiente extremo de barnices del desierto, con un enfoque geobiológico. Contacto: [rab.erik@gmail.com](mailto:rab.erik@gmail.com)

**María Colín García** es bióloga, egresada de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Realizó estudios de Maestría y Doctorado en la misma Facultad y dos posdoctorados, uno en el Instituto de Geología (UNAM) y otro en el Centro de Astrobiología, en Madrid. Su investigación se ha dedicado a entender el papel de los minerales en escenarios prebióticos y el origen de la vida; además de estudiar, desde una perspectiva Geobiológica, la búsqueda de vida en ambientes extraterrestres. Es investigadora titular del Instituto de Geología de la UNAM. Contacto: [mcolin@geologia.unam.mx](mailto:mcolin@geologia.unam.mx); [maria\\_colin@ciencias.unam.mx](mailto:maria_colin@ciencias.unam.mx)

## ¿Equidad epistémica? En defensa de la ciencia, pero contra el cientificismo

### Jorge Soberón y Carlos Martínez del Río

*Era el tiempo mejor, era el peor tiempo; era la era de la sabiduría, era la era de la tontería; era la época de creer, era la época de la incredulidad; era la estación de luz, era la estación de obscuridad; era la primavera de la esperanza, era el invierno de la desesperación.*

C. Dickens, *A tale of two cities* (1859) <sup>[1]</sup>

#### Preámbulo

Las reflexiones que presentamos aquí surgieron de discusiones sobre el significado de la muy en boga equidad epistemológica. Esta idea no es solamente un concepto con importancia para filósofos y académicos, sino que parece además haber penetrado en el campo legal como un lineamiento normativo. Tan es así que se ha incluido en la nueva Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación ([diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMHCTI.pdf](https://diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMHCTI.pdf)), publicada en el Diario Oficial de la Federación del gobierno de México en mayo de 2023 (Nueva Ley DOF 08-05-2023). El tema tiene que ver al mismo tiempo con los abusos de la ciencia y con sus éxitos. Presentamos aquí nuestras reflexiones desde el punto de vista de dos ecólogos, dos científicos que, en la medida de lo posible, están comprometidos con la sociedad en la que viven y con la conservación del mundo no humano.

La ciencia avanza a pasos agigantados. Las comunicaciones electrónicas nos permiten compartir datos e ideas con una facilidad y velocidad antes imposibles. Los avances científicos han transformado la medicina, la agricultura, las comunicaciones. Pero al mismo tiempo vemos cómo las sociedades modernas destruyen la naturaleza, avasallan las culturas tradicionales. Permea al mundo una profunda “soledad de espíritu” (en las apócrifas palabras del jefe Seattle, <https://www.duwamishtribe.org/chief-siah1>).

Un practicante de la ecología está ante un dilema: su cosmovisión y su *praxis* son las del científico moderno, pero su corazón está con la naturaleza violentada. Más aún, toda persona especializada en ecología, que haya trabajado en el campo sabe por experiencia propia que las comunidades locales (sobre todo las indígenas) demuestran tener profundos conocimientos sobre su entorno, y su actitud ante el mundo es radicalmente diferente de la del científico de universidad.

Es nuestra experiencia que la mayoría de las y los practicantes de la ecología como una actividad científica perciben la profunda contradicción entre los supuestos filosóficos y la *praxis* de la ciencia moderna con la contraparte (avasallada) de las culturas tradicionales. Suponemos que subyacentes al movimiento de la equidad epistémica se encuentran versiones más o menos elaboradas y generalizadas del dilema arriba descrito.

Desafortunadamente, la tremenda complejidad del problema se simplifica radicalmente al reducirlo a una simple cuestión de



El Jefe Seattle, (1786-1866) . Imágen de la Biblioteca Pública de Seattle para Wikimedia Commons.

justicia epistemológica. En efecto, el problema tiene muchas más aristas que las meramente epistemológicas. La *praxis* de obtención del conocimiento está sustentada por una red de supuestos ontológicos y axiológicos que son radicalmente diferentes en la llamada “ciencia occidental” y en los sistemas de conocimiento de las sociedades tradicionales. Una equidad epistemológica sin las correspondientes equidades ontológicas y axiológicas no tiene sentido.

En este trabajo, al menos someramente, queremos elaborar sobre este punto: equidad epistemológica.

#### El conocimiento en las sociedades “modernas”

Es casi imposible dar una definición concisa de lo que es la ciencia. Informalmente, aplicamos el término a la manera —la filosofía, los métodos, las instituciones y la política y economía— de conocer el mundo físico que se desarrolló en Europa desde mediados del siglo xv, en el Renacimiento. La ciencia no debe ser confundida con tecnología. En la ciencia hay un énfasis teórico y sobre la adquisición del conocimiento. La tecnología enfatiza la práctica.



En nuestro quehacer, la mayoría de las personas científicas somos realistas (en el sentido posmedieval del término). Esto quiere decir que asumimos que los objetos que detectamos usando nuestros sentidos (y los sentidos aumentados tecnológicamente), y las redes de causas que generan los fenómenos observables, existen independientemente de nosotros. Hay, sin duda, escuelas de físicos que ponen en duda ciertas definiciones del “realismo”, pero nunca en la práctica de su vida cotidiana [2]. Suponemos también que estos objetos y fenómenos constituyen una realidad compartida, común, a todos los humanos [3].

Es de notarse que el supuesto ontológico de que la realidad es externa y compartida constituye uno de los fundamentos centrales de la ciencia [3]. Por supuesto, la colección de conocimientos que llamamos ciencia es el producto de instituciones sociales, pero la subyacente realidad compartida es el árbitro que determina la validez de las ideas científicas dentro de una comunidad de expertos que las evalúan constantemente [4-7].

Finalmente, los que practicamos la ciencia asumimos que los fenómenos que observamos y tratamos de explicar son inteligibles, que la inteligencia es también compartida en común, y que los fenómenos carecen de un propósito, menos aún ordenado por una fuente sobrenatural: no hay “causas últimas”. Más aún, el mundo es íntegramente material. No existen entes espirituales. En la práctica, los científicos somos empiristas y materialistas. Esta es la ontología científica: el mundo es real, material, a-teleológico, compartido e inteligible [3].

¿Cómo conocemos esa realidad externa? Hipotetizando y usando observaciones (incluyendo experimentos) para determinar si una hipótesis es falsa. Las observaciones nos permiten comparar entre hipótesis en términos de la correspondencia entre sus implicaciones y esta “realidad” compartida y absoluta.

Ahora, efectivamente, las y los científicos somos susceptibles a innumerables influencias sobre nuestro modo de pensar y explorar la realidad (nuestra epistemología). Sin embargo, la veracidad (apropiadamente definida, no es este el sitio para desarrollar este tema) de las hipótesis y teorías que producimos no es relativa. Solamente depende de su ajuste con nuestra realidad compartida; pero su fuente depende de todos los factores culturales y sociales que moldean nuestra personalidad.

Las hipótesis y teorías que las y los científicos formulamos dependen de nuestro género, lugar de origen, ideología, [6, 8] etcétera. Además, están constreñidas por nuestros sentidos y por las tecnologías que los extienden (microscopios, espectrómetros, sistemas de percepción remota, etc.). La diversidad en antecedentes culturales y sociales implica que el modo con el que hacemos ciencia difiere, en ocasiones profundamente, entre científicas y científicos. En consecuencia, la diversidad de géneros, culturas y etnicidades en grupos de investigación, sociedades científicas y juntas de gobernanza y administración de la ciencia no solo es necesaria por razones de justicia, sino que con frecuencia enriquece la generación de ideas y resultados [4, 6, 7]. Pero enfatizamos, la correspondencia entre las ideas y la naturaleza se puede decidir objetivamente. La ciencia moderna ha desarrollado una gran variedad de métodos

y procedimientos instrumentales y estadísticos para establecer esta correspondencia.

Para quienes practicamos este modo de conocer, no todas las hipótesis y perspectivas son iguales. Los primeros filtros por los que tiene que pasar una idea científica son de validez lógica (suponemos la universalidad de la racionalidad) y que sea “anulable” (falsificable en inglés). Esto último quiere decir que, en principio, debe haber un conjunto de observaciones y experimentos que pueden demostrar que la idea es equivocada. Otra vez, la ontología del científico se basa en aceptar que existe un “árbitro externo” y absoluto sobre nuestras ideas: la realidad física. Con todas las bien estudiadas complicaciones sociales, psicológicas y políticas, al final la realidad es la que decide.

Finalmente, ¿cuál es el sistema de valores (la axiología) en la ciencia? [9] Los valores del practicante de la ciencia parecieran ser implícitos: “conocer es bueno”, “conocer en general es mejor que en particular”, “explicar es mejor que describir”. Experimentar (o sea, manipular) incluso en entes con capacidad para experimentar dolor y conciencia al menos parcial es necesario e inobjetable (ya que los objetos del mundo no tienen creador, propósito, respetabilidad...). La axiología del científico privilegia conocer sobre casi cualquier otro valor.

Difícilmente se puede derivar una axiología para la vida de una *praxis* científica. Este punto fue establecido muy claramente por David Hume cuando distinguió el “ser” del “deber ser” [10]. La ciencia nos da excelentes modelos del mundo material. Pero, ¿cómo debemos portarnos en este mundo?, ¿cuál es el deber ser?, ¿qué es bueno y qué es malo? Estas preguntas se refieren al sentido, propósito, valor intrínseco de las cosas y de nuestra conducta. Consideramos que la ciencia no tiene prácticamente nada que decir a este respecto, pese a las opiniones de Richard Dawkins, Christopher Hitchens y otros [11].

Resumiendo, la ciencia es una práctica y conjunto de conocimientos, pero no una cosmovisión completa. Es una colección de modos poderosos de adquirir conocimientos, a tal grado que, para algunos, se ha convertido en una especie de estándar intelectual. Este es el llamado *cientificismo*.

### **El *cientificismo* como una ortodoxia conveniente pero errónea**

El *cientificismo*, esa ortodoxia conveniente, [18] es la adopción de la ciencia como una cosmovisión que no reconoce sus propias limitaciones. Esta posición establece la hegemonía radical del que estudia sobre los objetos estudiados, y enfatiza el supuesto de materialidad de lo real. En su forma extrema lleva a lo que el sociólogo Max Weber llamó el mundo desencantado [12]. Algunos científicos notables, como el biólogo Edward O. Wilson, han propuesto que para avanzar, el arte y todas las humanidades deben adoptar los métodos de trabajo de las ciencias [13].

Esta perspectiva objetiviza y despersonaliza el mundo no humano y en ocasiones hasta a los humanos y sus culturas. Un párrafo de Claude Bernard, el llamado “padre de la fisiología”, ejemplifica el *cientificismo* con claridad aterradora:

*Un fisiólogo no es un hombre del mundo, es un científico, un hombre capturado y absorto en la idea científica que persigue; no oye los gritos de los animales que estudia, no ve la sangre derramada, ve solo su idea: los organismos que estudia solo esconden los problemas que quiere resolver. No siente que está inmerso en una carnicería horrible; bajo la influencia de una idea científica, persigue con deleite un filamento nervioso al interior de la carne lívida que para cualquier otra persona sería un objeto de repulsión y horror [14].*

La alienación del sujeto de su objeto de estudio, la objetivación del mundo y el conocimiento científico como bien último son evidentes en este pasaje que es tan revelador como terrible.

El científicismo como una cosmovisión que considera a la ciencia como única fuente de respuestas a los problemas de la humanidad se ha convertido en una ortodoxia cuasiglobal, dominante en una gran parte del mundo. La expansión global del científicismo es la consecuencia de dos factores: 1) el indudable éxito del conocimiento científico como catalizador de los avances tecnológicos que apoyan a las economías industriales y que ha generado enorme progreso en salud, alimentación, comunicaciones, etc. [15], y 2) la adopción del capitalismo global, que ha sido acompañado por la acogida entusiasta de los valores desencantados a los que se refiere Max Weber [12].

En occidente, el “desencantamiento” de la naturaleza es una consecuencia de la transición de la cosmovisión medieval del mundo (espiritual, simbólico, teleológico, cualitativo, antropocéntrico) a una moderna (material, mecánico, matematizado, cuantitativo, deshumanizado) [16].

Cuando desnudamos al mundo de propósito, significado y valor intrínseco, nos otorgamos el derecho de usarlo a nuestro modo, ya sea como fuente de conocimiento científico o de ganancias económicas. El propósito de lo que llamamos “objetos” (plantas, animales, paisajes, otros humanos) es el beneficio para indivi-



E.O. Wilson conversando sobre naturaleza con niñas y niños curiosos en Minute Man National Historical Park. Imagen: via Wikimedia Commons.

duos o grupos (corporaciones, países, etc.) humanos con agencia, esto es, capaces de ejercer control. En el mejor caso, y en teoría, se beneficia a la “humanidad”, un ente abstracto que, al carecer de agencia, en la práctica nunca es consultada.

El científicismo fundamenta axiologías despersonalizadas, mecanicistas y desprovistas de otro sentido que no sea el de quien domine una sociedad humana en particular [17]. El científicismo no solamente otorga permiso para la explotación del mundo natural; su uso para el beneficio de grupos humanos específicos se convierte hasta en un imperativo moral.

La aceptación global del científicismo como cosmovisión se ha convertido en uno de los ingredientes de la transformación del mundo que ahora llamamos la gran aceleración del Antropoceno [18] —la era en la que la huella humana transforma hasta los procesos biogeoquímicos de la biosfera.

Quizás uno de los resultados más perniciosos de la adopción general del científicismo es el aparente requerimiento del uso de los criterios científicos de “verdad” para evaluar las mitologías y narrativas que dan sentido y significado a individuos y culturas. Incluso las palabras “mito” y “narrativa” son usadas como términos despectivos.

Los mitos y narrativas juegan papeles importantísimos, esenciales incluso, en todas las sociedades y culturas. Los mitos son la base de los sistemas de valores e instrumentos pedagógicos que guían el comportamiento, fuentes de sentido de pertenencia a un sitio y hasta principios inagotables de maravilla sobre el mundo misterioso en el que vivimos [19].

Por supuesto, muchos mitos incluyen elementos que pueden ser verificados empíricamente. Sin embargo, y en contraste con el conocimiento científico, el valor de los mitos y narrativas no puede ser juzgado por su contenido empírico. Los criterios que debemos usar para evaluar la ciencia y las formas de conocimiento encarnadas en los mitos y narrativas no son comparables, son incommensurables (una palabra que definiremos más adelante).

### El conocimiento en las sociedades no “modernas”

¿Existen cosmovisiones alternativas no científicas? Por supuesto que sí, y estas cosmovisiones en muchas ocasiones son representadas en los mitos y narrativas considerados en el párrafo anterior, además de en la práctica diaria de innumerables culturas.

En general, las visiones del mundo de los pueblos tradicionales (incluyendo la del mundo occidental preilustrado) difieren radicalmente en su ontología [20] (y por ende, en sus epistemologías y sus axiologías) con la de la ciencia moderna. Tomemos por ejemplo una característica de las ontologías de la mayor parte de los pueblos indígenas del mundo: casi todas asumen y parten de la base de que el mundo es una combinación inseparable de lo material y lo espiritual [21-24]. El mundo es una red de relaciones interpersonales. Plantas, animales y a veces hasta las piedras se consideran en relaciones espirituales entre ellas y con nosotros [22]. Esto está bien expresado por la científica de la nación Potawatomi, la Dra. Robin Wall Kimmerer, [25]

(<https://www.robinwallkimmerer.com/>), quien nos dice:

*Experiments are not about discovery but about listening and translating the knowledge of other beings. (Los experimentos no son sobre el descubrimiento sino acerca de escuchar y traducir el conocimiento de otros seres.)*

La axiología de estas cosmovisiones reconoce el valor intrínseco del mundo natural. Su ontología difiere radicalmente de la de la ciencia moderna (y por lo tanto, de la del cientificismo típico): es espiritual, relacional y participativa. Obviamente esta ontología tiene consecuencias para la epistemología: la forma de conocer de los pueblos tradicionales privilegia las relaciones, los relatos, las ceremonias y las narrativas ejemplares [21, 26, 27]. Estas formas llevan sin duda a obtener conocimientos útiles en la práctica, [24] pero estos generalmente tienen aplicación principalmente local. Las realidades son varias, no la única y compartida realidad de la ontología de la ciencia “occidental”, que en la práctica requiere y sustenta lógicamente la idea de que la ciencia es general y universal. En las cosmovisiones tradicionales es lo local lo que domina.

Podemos encontrar elementos de las llamadas cosmovisiones “tradicionales” en occidente como parte integral del pensamiento medioambientalista, que reconoce que los humanos y el mundo no humano participamos en interacciones y relaciones ricas en significado y valor basados en un maravillado sentido de ecorreciprocidad.

Muchas de las religiones del mundo con tradiciones místicas, incluyendo las del llamado “occidente”, comparten estos valores de relación y unidad entre la gente y el mundo no humano [28]. Las visiones del mundo tradicionales producen culturas más orientadas a la sustentabilidad y otorgan sentido (significado) al mundo.

La ascendencia del cientificismo como cosmovisión y ortodoxia ha desplazado a estas cosmovisiones alternativas al mismo tiempo que el colonialismo y la industrialización han destruido y explotado a las culturas y pueblos de las que provienen. No es solo la biodiversidad la que ha sido degradada por el capitalismo global. La diversidad cultural también ha sufrido embates similarmente graves [24].

### ¿Es posible la equidad epistémica?

Llegamos finalmente al punto del ensayo, la idea de equidad epistémica. Como respuesta al predominio cientificista, en México algunos funcionarios y activistas han hecho un llamado a la equidad epistémica. Esto parece querer decir que debemos considerar al conocimiento científico sin privilegiarlo, como una forma más dentro de una gran constelación de cosmovisiones y perspectivas. La supuesta necesidad de la equidad epistémica ha sido codificada recientemente en la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación del gobierno de México:

*...la ciencia se ejercerá conforme a los principios de rigor epistemológico, igualdad y no discriminación, inclusión, pluralidad y equidad epistémicas...*



Robin Wall Kimmerer dando una plática. Imagen: Indiana Humanities via Wikimedia Commons.

La frase equidad epistémica aparece ocho veces en esta Ley. A pesar de sus loables intenciones, su inclusión e implementación en un marco legal sin elaboración y discusión no es adecuada. El problema principal es que las epistemologías dependen de las cosmovisiones (las ontologías), y éstas pueden ser radicalmente incompatibles. Detrás de la equidad epistémica está implícita una equivalencia ontológica, que es muy problemática.

A esta diferencia se le llama la *incommensurabilidad* de cosmovisiones. La palabra denota una ausencia de conceptos comunes que crea dificultad y hasta imposibilidad para compaginar discursos cuando no se comparten bases conceptuales y semánticas [29, 30]. Dejemos claro que el problema que intentamos discutir no es el de la validez del “conocimiento indígena”, validez que ha sido descrita y demostrada *ad infinitum* [31-34]. La *incommensurabilidad* no es de conocimientos, sino de cosmovisiones.

Los sistemas tradicionales de conocer pueden ser separados en al menos tres perspectivas [32]: el *corpus*, sobre el cual hay generalmente acuerdos, la *praxis* y el *kosmos*. El *kosmos* es la visión del mundo, que subyace a la epistemología, y los *corpora*, los conocimientos. Son los *kosmoi*, no los *corpora*, los que suelen ser incommensurables.

La *incommensurabilidad* parece ponerle una trancada a la posibilidad de elegir “racionalmente” entre visiones del mundo usando una divisa común, [35] aunque hay otras opiniones [36].

Comparar entre cosmovisiones distintas (como la ciencia y las cosmovisiones de las culturas tradicionales) es muy complejo. [37] Los propios pueblos indígenas pueden negar la posibilidad de compatibilizar sus cosmovisiones con la hegemónica [38].

El problema de la equidad epistémica es en el fondo un problema de *incommensurabilidad* de cosmovisiones, aunque sugerimos con gran cautela que la solución de la crisis ambiental de

nuestra era va a requerir de hacer commensurables, o por lo menos armoniosamente coexistentes, la cosmovisión científica de la dominante cultura occidental con cosmovisiones indígenas o tradicionales [28].

Así, incluir equidad epistemológica en un documento legal como la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, sin considerar la complejidad subyacente y sin siquiera considerar su existencia, nos parece una omisión grave. Es el resultado de adoptar acríticamente un término reciente [39] ignorando multitud de complicaciones teóricas y prácticas.

El tema de la equidad epistemológica en la ciencia requiere urgentemente un análisis crítico y una amplia conversación en la que los diferentes actores sean escuchados y entendidos. Esperamos que este ensayo contribuya a ambos.

### Bibliografía Citada

1. Dickens, C. (2007). *A tale of two cities*. Penguin. 544 pp.
2. Santayana, G. (1955). *Scepticism and animal faith: Introduction to a system of philosophy*. Courier Corporation. EUA. 356 pp.
3. Nicol, E. (1974). *Los principios de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica. 510 pp.
4. Oreskes, N. (2021). Why trust science?, en *Why Trust Science?* Princeton University Press. 373 pp.
5. Polanyi, M. (2013). *Science, faith and society*. University of Chicago Press. 96 pp.
6. Longino, H.E. (1987). Can there be a feminist science? *Hypatia*, 2: 51-64. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1527-2001.1987.tb01341.x>
7. Rauch, J. (2021). *The constitution of knowledge: A defense of truth*. Brookings Institution Press. <https://muse.jhu.edu/book/83335>
8. Feyerabend, P. (1993). *Against method*. Verso books. 290 pp.
9. Weinberg, A.M. (1970). Views: The Axiology of Science: The urgent question of scientific priorities has helped to promote a growing concern with value in science. *American Scientist* 58 (6): 612-617. <http://www.jstor.org/stable/27829310>
10. Lo, Y.-S. (2001). A Humean argument for the land ethic? *Environmental Values*. Pp. 523-539. <https://www.jstor.org/stable/30301842>
11. [doi: 10.3197/096327101129340949](https://doi.org/10.3197/096327101129340949)
12. Cimino, R. y C. Smith. (2011). The new atheism and the formation of the imagined secularist community. *Journal of Media and Religion* 10 (1): 24-38. <https://doi.org/10.1080/15348423.2011.549391>
13. Weber, M. (2004). *The vocation lectures*. Hackett Publishing. 176 pp.
14. Wilson, E.O. (1999). *Consilience: The unity of knowledge*. Vol. 31. Vintage.
15. Burki, T.K. (2018). Claude Bernard: no ordinary man. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology* 3 (6): 381. DOI: [10.1016/S2468-1253\(18\)30131-6](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(18)30131-6)
16. Funk, C., A. Tyson, B. Kennedy y C. Johnson. (2020). Science and scientists held in high esteem across global publics. *Pew research center*, 29. 133 pp.
17. Burtt, E.A. (2014). *The metaphysical foundations of modern physical science: A historical and critical essay*. Routledge. 356 pp.
18. Lewis, C.S. (2001). *The abolition of man*. Zondervan. 42 pp.
19. Steffen, W.W.B., L. Deutsch, O. Gaffney y C. Ludwig. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review* 2 (1): 81-98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
20. Campbell, J. (2017). *Myths to live by*. Joseph Campbell Foundation.
21. Iwaniszewski, S. (2009). Did I say cosmology? On modern cosmologies and ancient world-views. In *Cosmology Across Cultures*. Conference Series, 409: 100-106.
22. Turner, N. (2014). *Ancient pathways, ancestral knowledge: ethnobotany and ecological wisdom of indigenous peoples of northwestern North America*. Vol. 74. McGill-Queen's Press-MQUP.
23. Atleo, E.R. (2007). *Tsawalk: A Nuu-chah-nulth worldview*. UBC press. 168 pp.
24. Salmon, E. (2020). *Iwigara: The kinship of plants and people. American Indian Ethnobotanical Traditions and Science*. 248 pp.
25. Toledo, V.M. (2001). Indigenous peoples, and biodiversity, en *Encyclopedia of Biodiversity*, S. Levin, Editor. Academic Press. Pp. 1181-1203.
26. Kimmerer, R. (2013). *Braiding sweetgrass: Indigenous wisdom, scientific knowledge and the teachings of plants*. Milkweed editions. 408 pp.
27. Hart, M.A. (2010). "Indigenous worldviews, knowledge, and research: The development of an indigenous research paradigm". *Journal of Indigenous Social Development* 1 (1A). <http://hdl.handle.net/10125/15117>
28. Wilson, S. (2001). What is an indigenous research methodology? *Canadian Journal of Native Education* 25 (2): 175-179.
29. Callicott, J.B. (2001). Multicultural environmental ethics. *Daedalus* 130 (4): 77-97. <https://doi.org/10.4000/angles.1390>
30. Waters, L. (2001). The age of incommensurability. *Boundary* 2; 28 (2): 133-172. <https://muse.jhu.edu/article/3345>
31. Chang, R. (1997). *Incommensurability, Incomparability, and Practical Reason*. Vol. 4. Harvard. Pp. 193-195. DOI: [10.1023/a:1011465923021](https://doi.org/10.1023/a:1011465923021)
32. Toledo, V.M., A.I. Batiz, R. Becerra, E. Martínez y C. Ramos. (1995). La selva útil: Etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia* 20 (4): 177-187.
33. Gadgil, M., F. Berkes y C. Folke. (1993). Indigenous

- knowledge for biodiversity conservation. *AMBIO* 22: 151-156. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009177856.042>
34. Orlove, B.S., J.C. Chiang y M.A. Cane. (2000). Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of El Niño on Pleiades visibility. *Nature* 403 (6765): 68-71. <https://doi.org/10.1038/47456>
35. Genz, J., J. Aucan, M. Merrifield, B. Finney, K. Joel y A. Kelen. (2009). Wave navigation in the Marshall Islands: Comparing indigenous and Western scientific knowledge of the ocean. *Oceanography* 22 (2): 234-245. <https://www.jstor.org/stable/24860973>
36. Sobek, T. y J. Montag. (2018). Value Incommensurability. En *Encyclopedia of Law and Economics*, A. Marciano y R. G. (eds.). Springer.
37. Lacey, H. (2001). Incommensurability and 'multicultural science', en *Incommensurability and related matters*. Springer. Pp. 225-239. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9680-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9680-0_9)
38. Cohn, S. y R. Lynch. (2017). *Diverse bodies: the challenge of new theoretical approaches to medical anthropology*. Taylor & Francis. Pp. 131-141. <https://doi.org/10.1080/13648470.2017.1334395>
39. Nadasdy, P. (1999). The politics of TEK: Power and the 'integration' of knowledge. *Arctic Anthropology*, pp. 1-18. <https://www.jstor.org/stable/40316502>
- 40. Santos, B.d.S. (2011). Epistemologías del sur. *Utopía y Praxis Latinoamericana* 16 (54): 17-39. <https://tinyurl.com/menpyym3>

**Jorge Soberón Mainero** es un profesor distinguido del Departamento de Ecología y Biología Evolutiva de la Universidad de Kansas, Estado Unidos, y fue director del KU Biodiversity Institute and Natural History Museum de la misma Universidad. Doctor en Ciencias del Imperial College de la Universidad de Londres. Fue investigador del Instituto de Ecología, UNAM, hasta 2005. Es especialista en Matemáticas, Ecología de Poblaciones, Bioestadística, Biología Computacional y Patrones espaciales sobre la biodiversidad. Fue el Presidente ejecutivo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de 1992-2005.

**Carlos Martínez del Río** es profesor emérito del Department of Zoology and Physiology de la Universidad de Wyoming, EUA. Es biólogo de la Facultad de Ciencias de la UNAM y doctor de la Universidad de Florida, EUA. Sus principales intereses caen en el ámbito de la ecofisiología de colibríes y murciélagos.

Escribimos este glosario con cierta preocupación y simplemente con el objeto de clarificar lo que queremos decir en este ensayo. No es claro para nosotros que algunos conceptos presentados aquí (axiología, epistemología, ...etc.) y que fueron creados para entender la filosofía occidental, puedan ser transferidos simplemente a cosmovisiones no occidentales.

**Axiología:** (del griego axios, valioso, y logos, palabra/razón) es el estudio y conjunto de principios de una cosmovisión o cuerpo filosófico que examina y establece los tipos y criterios de los juicios de valor que usamos para comportarnos de una manera culturalmente aceptada como moral o ética. La axiología pretende entender y justificar como es que nos comportamos de un modo justo.

**Cientificismo:** la postura filosófica que propone que los métodos científicos son los únicos modos de establecer conocimiento, y que la ciencia es el único conjunto de conocimiento válido. El científicismo adopta a la ciencia como cosmovisión.

**Cosmovisión:** el modo comprensivo, integrado y totalizante (a menudo no explícito) de entender el mundo. Las cosmovisiones representan las creencias fundamentales (rationales o no, contradictorias o no) de un individuo o cultura. Incluyen la concepción de la realidad, un corpus de conocimientos primarios, un sistema de valores, y un conjunto de métodos de conocerla y entenderla.

**Epistemología:** (del Griego episteme, o conocimiento/entendimiento) es la componente de las cosmovisiones y de la filosofía que trata de definir cuáles son los orígenes del conocimiento, y cuáles son los métodos que usamos para generarlo y evaluarlo. La epistemología describe la manera de conocer de una cultura.

**Equidad epistemológica:** postula la equivalencia en la validez y legitimidad de los modos de conocer generados por distintas tradiciones y cosmovisiones.

**Incomensurabilidad:** es un concepto con orígenes en las matemáticas, pero adoptado por algunos filósofos de la ciencia. Los conceptos son incomensurables cuando no pueden ser comparados usando una misma métrica. La incomensurabilidad no quiere decir incomparabilidad, sino simplemente la ausencia de criterios de validez comunes (en nuestro caso entre cosmovisiones distintas).

**Justicia epistemológica:** existen muchas definiciones. Esta es una de las muchas posibles: La justicia epistémica reconoce que la educación ha favorecido las ontologías, epistemologías y axiologías principalmente occidentales, generados en las tradiciones de las naciones colonizadoras. La justicia epistémica trata de reconocer la importancia y validez de los corpus de conocimientos generados por los grupos colonizados.

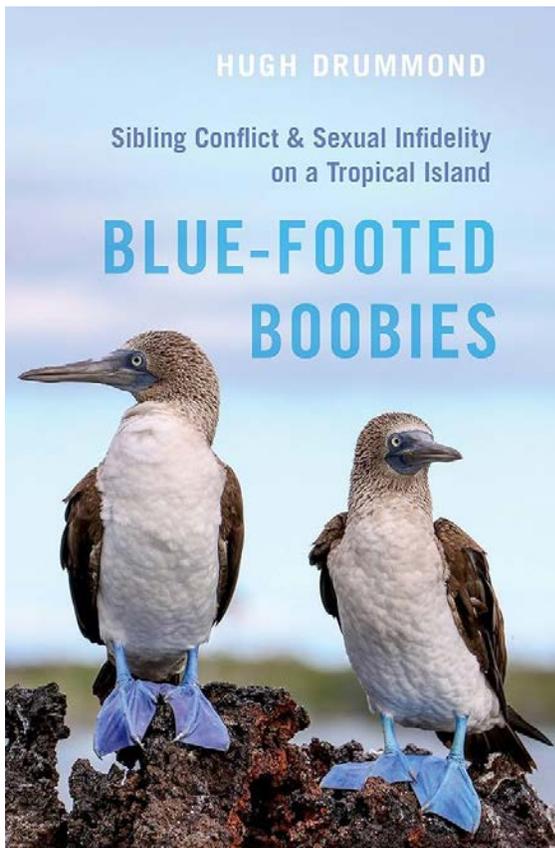
**Ontología:** es el estudio filosófico de lo que existe, de lo que es real, del ser.

**Praxis:** es el proceso por el cual una forma de conocimiento es aplicada o puesta en práctica.

## Blue-Footed Boobies: Sibling Conflict & Sexual Infidelity on a Tropical Island

César A. Domínguez

2023. Oxford University Press. New York, por Hugh Drummond.  
<https://doi.org/10.1093/oso/9780197629840.001.0001>.



En este divertido libro, Hugh Drummond nos cuenta la no tan idílica vida familiar de los bobos de patas azules (*Sula nebouxi*), una historia que se desarrolla en una isla tropical del Pacífico mexicano y que pareciera tener los rasgos típicos de una tragedia griega. Empiezo narrándoles una historia que ha despertado la imaginación —seguida de la fascinación— de cualquiera que la haya presenciado.

Cada año a finales del invierno cientos de machos y hembras de bobos de distintas edades se reúnen nuevamente en una pequeña isla tropical del Pacífico mexicano. ¡Ha llegado el momento de la reproducción! Acuden a la cita puntuales, cada uno busca anidar cerca del lugar donde nació. Los machos compiten por los mejores lugares para establecer su territorio, e inmediatamente empiezan los elaborados cortejos en los que tanto las hembras como los machos participan activamente. Este ritual les permite evaluarse

unos a otros y finalmente establecer parejas —que en su mayoría se mantendrán estables por el resto de la temporada.

Como todos sabemos, elegir una pareja no es tarea fácil, ya que esta decisión implica un compromiso que solo se puede cumplir si las dos partes colaboran intensamente. Cada pareja forma un vínculo en el que deberán compartir la tarea de establecer y cuidar un territorio, incubar los huevos durante seis o siete semanas, alimentar a los pollos hasta por diez semanas, y cuidarlos de las agresiones de los vecinos, de los intrusos y de los depredadores. Todo esto sin contar que ellos también deberán alimentarse y cuidarse. Elegir pareja es una decisión fundamental para los bobos, por lo que es natural que durante las primeras semanas los machos y las hembras cortejen a diferentes consortes potenciales, e incluso que cambien su primera elección si encuentran una pareja mejor.

Poco a poco las hembras van pasando más tiempo en el territorio del macho, juntos toman la decisión de dónde construir el nido y se aparean con más frecuencia. Después de unos días, la hembra finalmente pone un huevo, unos días después pone el segundo, y menos frecuentemente un tercero. Sin embargo, establecer una relación estable (al menos durante esa temporada reproductiva) y producir una nidada no evita que tanto las hembras como los machos busquen copular con otros individuos de la colonia.

La habilidad conjunta de los padres para cuidar y alimentar a su prole, así como la disponibilidad de alimento —que depende de las condiciones del mar— determinarán si los polluelos sobrevivirán y alcanzarán su independencia. Cuatro días después de la eclosión del primogénito, su hermano menor eclosionará y ambos convivirán durante los siguientes tres meses en el apretado entorno familiar del nido hasta que uno, o los dos, alcancen su independencia.

La diferencia de cuatro días hace que el primogénito sea más grande y cuente con un mayor desarrollo cognitivo y muscular. Esta ventaja será de gran relevancia durante las siguientes semanas, ya que al principio ambos hermanos están igualmente motivados para competir agresivamente por el alimento que proveen los padres. Esta competencia, sin embargo, es completamente asimétrica. El drama comienza cuando el hermano menor solicita alimento al progenitor en turno. No hace falta más para que el primogénito, que es más grande y fuerte, desate un violento ataque que solo cesará cuando su hermano menor adopte una actitud sumisa. Este régimen de violencia crónica, hambre, estrés

fisiológico y psicológico ocurre de manera reiterada hasta que el menor es finalmente entrenado para ser sumiso. Aunque el entrenamiento reduce la intensidad y la frecuencia de los ataques, disminuye también la cantidad de alimento que recibe el hermano menor, lo que a su vez reduce su sobrevivencia. Esta dinámica tiene enormes consecuencias, ya que mientras solo 25% de los primogénitos muere antes de emplumar, esta cifra crece hasta 35% en los segundos hijos. ¡Una diferencia de 10% en sobrevivencia! Todo esto ocurre ante la mirada impasible de los progenitores, que casi nunca intervienen para detener los ataques.

Las cosas son todavía más difíciles en los años de El Niño, cuando la temperatura del mar aumenta y baja su productividad. En esas condiciones, los padres tienen que hacer esfuerzos extraordinarios, y a menudo fallidos, para alimentar a sus crías. Si esta falta de alimento produce un déficit de peso de entre 20 a 25% en el primogénito, éste intensificará sus ataques y provocará la muerte de su hermano menor por inanición o por expulsión del nido. Los pájaros que tuvieron la suerte de emplumar y alcanzar su independencia pasarán unos años en el mar antes de intentar reproducirse por primera vez; cuando lo hagan, regresarán a la isla que los vio nacer y el ciclo dará una vuelta más.

Inmersa en esta narración se encuentra una lista de fenómenos naturales que necesitan una explicación. Por ejemplo, ¿qué determina la elección de pareja y cuáles son sus consecuencias?, ¿cuáles son las ventajas y las desventajas de la infidelidad?, ¿cómo se explica la aparente armonía entre los cónyuges y al mismo tiempo su tendencia a la infidelidad?, ¿por qué los padres no intervienen en el conflicto que ocurre entre sus hijos?, ¿qué condiciones favorecen el fratricidio?, ¿cuáles son los efectos a largo plazo de haber sido entrenado para ser sumiso?, ¿por qué les va mejor a las parejas formadas por individuos de edades muy diferentes?, ¿qué tan común es la conducta que observamos en los bobos? Todas estas son preguntas fundamentales para la ecología conductual y evolutiva, cuyas respuestas ayudarán a entender los hechos aparentemente bizarros de la historia que acabo de contar.

Las respuestas a estas incógnitas se construyeron poco a poco, con base en el trabajo sistemático, y seguramente muy divertido, de un nutrido grupo de estudiantes e investigadores liderados por el Dr. Drummond del Instituto de Ecología de la UNAM. Los estudios formales de esta especie en la Isla Isabel, una pequeña isla oceánica localizada al oeste de San Blas, Nayarit, comenzaron en 1981, hace ya más de 40 años.

Muy pronto fue evidente que era necesario mantener un registro sistemático y a largo plazo de los bobos de la isla, así que se emprendió un ambicioso programa de marcaje que no estuvo exento de problemas durante los primeros años. Esta base de datos se ha convertido en una valiosísima fuente de información que ha permitido abordar muchas de las preguntas planteadas con anterioridad. Por ejemplo, sin esta base de datos sería imposible decir algo como lo siguiente:

"Verónica tenía 15 años y regresó con Harry después de tres años con Lance, ahora mismo ella está cortejando y apareándose con un vecino mientras su pareja salió a pescar..."

Sospecho que Hugh tuvo algo que ver con la asignación de los nombres de los bobos... Las respuestas a esas incógnitas se han construido a lo largo de los años usando observaciones bien diseñadas, ingeniosos experimentos en el campo, análisis de paternidad y de niveles hormonales, que, combinados con la valiosa información de la base de datos, nos cuentan la historia de miles de bobos de patas azules. Los invito a descubrir esas respuestas recorriendo las páginas de este interesantísimo y divertido libro.

Por otra parte, en lo que sigue, quiero darles mis impresiones sobre esta obra, ya que este libro, como casi todos los libros, tiene varias lecturas. Primero que nada, es un libro que aborda magistralmente un tema fascinante de la biología, los cómo y los porqués de un fenómeno que es común a prácticamente todos los seres vivos —los conflictos de interés que surgen cuando dos o más individuos interactúan.

Como expliqué arriba, el libro se enfoca en los conflictos que ocurren en el seno de las familias de un ave marina, el bobo de patas azules. Los *boobies* son aves monógamas (aunque infieles a la primera oportunidad); el macho y la hembra colaboran en el cuidado y la alimentación de uno a tres polluelos que nacen —eclosionan— ciegos, sordos, sin plumas y que son completamente dependientes de sus padres hasta que alcanzan la independencia varios meses después. En el seno de estas familias se desarrollan intensos conflictos como la competencia entre hermanos, que en algunos casos termina con la muerte de uno de ellos, desavenencias entre padres e hijos, conflictos sexuales e infidelidad, un repertorio que nos parecerá escandaloso y al mismo tiempo familiar, y que ocurre en muchas especies de vertebrados, la nuestra incluida.

Otro acierto del libro es la manera en que un relato sobre la sorprendente historia natural de una especie de ave marina se transforma en una revelación del funcionamiento de la naturaleza. Esta transformación ocurre cuando esa historia se ubica en el contexto de la teoría de la evolución y particularmente en las ideas sobre selección de parentesco (en inglés, *Kin selection*). Esta teoría hace referencia a la selección que opera entre individuos emparentados, como los integrantes de una familia nuclear. Cuando uno de los miembros de una familia se reproduce, sus parientes obtienen también un beneficio, que es proporcional al grado de parentesco, es decir, a la fracción de genes que comparten esos dos parientes. Es por esta razón que cuando los individuos están cercanamente emparentados, como es el caso de los progenitores y sus hijos, estos deberían mostrar más disposición para cooperar, restringir sus impulsos egoístas y ser menos agresivos. A pesar de esto, los intereses de los diferentes individuos que constituyen una familia no necesariamente coinciden. Por ejemplo, un progenitor debería valorar a sus hijos por igual debido a que comparte la misma proporción de genes con cada uno de ellos, y por lo tanto, asignar una ración equivalente de alimento a cada uno. Sin embargo, un hijo que sea capaz de obtener más alimento que el que sus padres están dispuestos a darle, obtendrá un beneficio a costa de sus hermanos (ya que cada individuo valora a un hermano en la mitad de lo que se valora a sí mismo). Esta situación plantea un claro conflicto de interés entre los padres y los hijos y entre los

hermanos. Ésta y otras ideas constituyen la columna vertebral que da sentido a las observaciones de historia natural que se narran en el libro y que son la base sobre la que se construyeron las hipótesis analizadas en esta obra.

Aunque no es su principal objetivo, el libro también habla sobre la vida de un científico, de cómo se hace la ciencia. Resalta la importancia de la teoría y del trabajo en equipo, describe la aventura —tanto intelectual como real— de hacer ciencia, y subraya la avidez por entender los fenómenos naturales. El libro de Drummond enfatiza la importancia de entender la naturaleza, de darnos cuenta de que somos una más de las miles de especies de vertebrados con las que compartimos una historia evolutiva, y que entender a esas especies nos ayuda a entendernos a nosotros mismos. Para decirlo en las palabras del autor, "las similitudes conductuales que se observan entre los humanos y los bobos probablemente evolucionaron como consecuencia de procesos selectivos similares, por lo que el comportamiento animal puede de hecho explicar las malas conductas de los humanos".

Quiero mencionar otro aspecto del libro que llamó poderosamente mi atención. Esparcidos a lo largo del texto encontramos pinceladas de cotidianidad, reflexiones del autor o pequeños relatos que rompen armoniosamente la narrativa científica, que en conjunto imprimen una pátina que nos acerca a la camaradería, al lado humano que emerge cuando las personas colaboran en empresas extraordinarias como la que narra este libro.

Finalmente, pero no en último lugar, esta obra también nos habla sobre la persona que la escribió, el Dr. Hugh Drummond, mi querido amigo Hugh. Habla de un joven estudiante de leyes en la Inglaterra de la posguerra que ansiaba conocer el

mundo, experimentar culturas, climas y paisajes exóticos, seguir escalando montañas y teniendo aventuras. La mejor manera que encontró para caminar por ese sendero fue estudiar para ser maestro de inglés, profesión que ejerció durante un tiempo hasta que tuvo ofrecimientos para trabajar en Noruega, Costa Rica y México. Hugh eligió México por razones que él podrá explicar mejor que yo, y al hacerlo, les puedo asegurar que influyó poderosamente en la vida de muchas personas, de su familia sin duda, de sus numerosos estudiantes y de todos los que tenemos el privilegio de ser sus amigos.

Fascinado por la riqueza biológica y cultural de ese México de la segunda mitad del siglo pasado, Hugh canalizó su interés por la naturaleza a través de la lectura y de manera inevitable dio con los textos de Konrad Lorenz, Niko Tinbergen y Karl von Frisch, los fundadores de la Etología. Estas lecturas, junto con sus experiencias en la naturaleza y el aprendizaje autodidacta de la teoría evolutiva y de la ecología conductual, lo condujeron a seguir una carrera científica formal.

Después de pasar cinco años trabajando en México como maestro, Hugh fue aceptado en la Universidad de Tennessee para hacer un doctorado en etología y psicología comparada. Lo que pasó después es historia y este libro forma parte de ella.

---

**César A. Domínguez** es investigador del Instituto de Ecología de la UNAM. Su trabajo se enfoca a la biología evolutiva, en particular en la evolución de la sexualidad de las plantas y las interacciones bióticas.

---

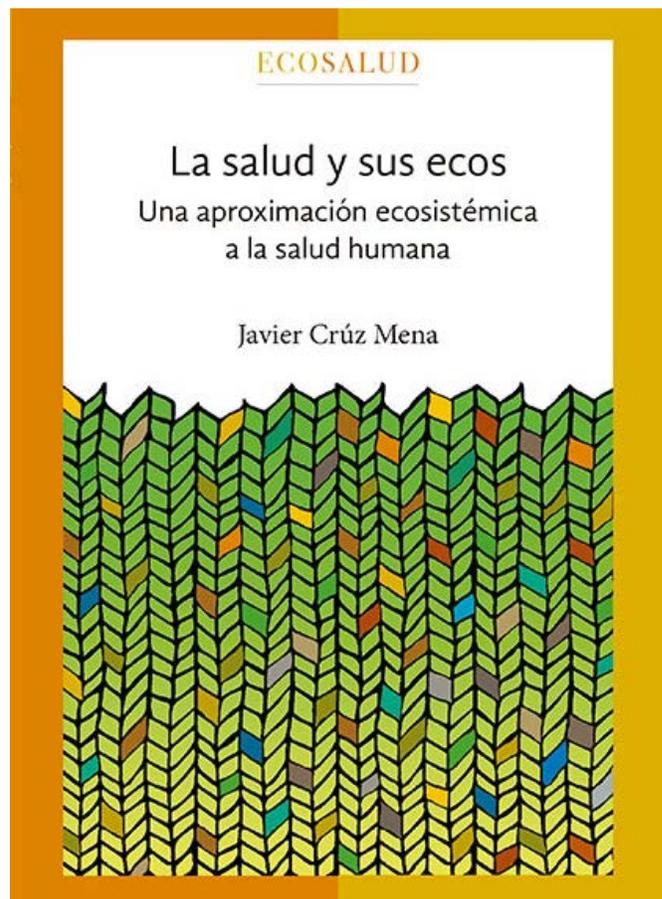


La colección **Ecosalud** es un ambicioso proyecto coordinado por la Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC) de la UNAM. La idea es “promover la comprensión de la salud como un problema no solo humano, sino que involucra el bienestar del planeta y nuestra relación con los organismos que lo habitan”. El impulso original de la colección fue la crisis sanitaria del COVID-19, y se centra en el concepto *One Health-Una (sola) salud*, que señala que “la salud humana está íntimamente relacionada con la salud animal y con los ecosistemas resilientes y sostenibles”, como indican Socorro Venegas Pérez y César A. Domínguez Pérez Tejada en la presentación de la colección.

En este momento la colección ya ha publicado cuatro volúmenes y otro más está en prensa. El primero salió en mayo del 2023, *La salud y sus ecos: una aproximación ecosistémica a la salud humana*, escrito por Javier Cruz Mena, quien es periodista de ciencia. Javier estudió física en la UNAM, tiene una maestría en Matemáticas Aplicadas y desde 1994 trabaja en periodismo de ciencia en la DGDC.

Este libro, además de ser el primero, es el más largo, con 208 páginas. Los “ecos” a los que se refiere el título son dos: ecología y eco-nomía, que aunque vienen de la misma etimología del griego (ya saben, *oikos* = casa), divergen claramente en su relación con la naturaleza, ya que la ecología trata de entender y conservar la casa, mientras que la economía (tradicionalmente) solo busca cómo explotar la naturaleza para generar bienes y riqueza.

Como indica Javier, el libro gira alrededor de dos ideas que él califica de “muy malas, de plano fatales”, y otra idea “luminosa, esperanzadora”. Las ideas “fatales” no son tales, es solo un truco para mantenernos interesados, pero sí pueden ser controversiales. Una idea “fatal” es sobre la “salud personal”, que le sirve para discutir y definir qué es salud y cómo ésta va más allá de la salud individual porque involucra tanto la salud de las personas y animales que nos rodean como la salud del medio ambiente, relevante pero difícil de comprender en su amplia relación con la salud personal. La otra idea que Javier llama “fatal” es la de repensar qué es un “individuo biológico”, que se conecta con la idea de que somos más que un cuerpo y ADN humano y que debemos incluir a nuestros microbiomas —que apenas comenzamos a entender— como parte de un solo individuo; estos microbiomas pueden tener muchas funciones y ser centrales en nuestra salud.



La “idea luminosa” de Javier es la idea central de esta colección: se necesita —para lograr y comprender esta salud ambiental— tener una “perspectiva ecosistémica”; los lectores seguro se dan cuenta (cuando menos los lectores ecólogos y biólogos) de que es un largo camino el de definir todos estos conceptos y esta perspectiva ecológica en la salud.

Para desarrollar estas tres ideas, Javier utiliza dos herramientas. Una es la entrevista a personajes de nuestra universidad que tienen ideas al respecto. La otra es imaginar a una persona con alguna enfermedad en una consulta médica y extrapolar la situación a la salud del ecosistema, explorando ideas

y definiendo conceptos. Y como el mismo Javier lo señala, su libro es una obra “periodística” basada en entrevistas y en la revisión de diferentes fuentes que a su vez usa como guías para hacer e interpretar las entrevistas.

Uno de los primeros personajes que entrevista es sin lugar a dudas una gran elección: nuestro querido y carismático maestro Antonio Lazcano, de la Facultad de Ciencias de la UNAM, a quien consulta para saber si somos uno o una multitud, pensando en las ideas actuales de microbioma y del holobionte. Toño, además de saber todo sobre evolución y el origen de la vida, nos ha platicado siempre de Lynn Margulis, a la que trajo varias veces a nuestra Facultad de Ciencias, UNAM. Lynn popularizó la idea de que todos los eucariontes, o sea animales, plantas, hongos y protistas, somos resultado de una simbiosis temprana entre diferentes organismos unicelulares, en la que unos dieron origen al núcleo y otros a nuestras mitocondrias. En el caso de las plantas, un linaje particular de bacterias, las cianobacterias, son el origen de los cloroplastos; siguiendo estas ideas podemos llegar rápidamente a pensar que nosotros y nuestro microbioma somos lo que funciona como un solo individuo, cooperando en un gran mutualismo multiespecies.

El holobionte (<https://tinyurl.com/c2cf5xbe>) sería entonces el animal o planta con sus microorganismos asociados, que funcionaría, en teoría, como un todo acoplado, como una unidad ecológica y, tal vez, evolutiva. Pero aquí debo señalar que la idea del holobionte, aunque es una buena metáfora que ayuda a entender y pensar al respecto, es controversial, ya que no siempre somos tan amigos de nuestros microbios. Lo que sucede es que a veces nos peleamos con ellos: como es un equilibrio dinámico, si uno de los que interactúan se debilita, los otros toman ventaja. Creo que este es un mecanismo por el que nos enfermamos, aunque hay muchas formas de perder la salud... esto nos regresa al problema de cómo definirla.

Javier aquí trata de estimar cuántos microbios tenemos en nosotros (microbios amigos, microbios enemigos, o “mirones”, los que sólo van de paso, y aquellos cuya abundancia depende del día). En particular discute si el número que se menciona comúnmente —de 100 millones de millones de células tan solo en el tracto digestivo de una persona— es adecuado o una exageración y explora cómo se llegó a este número. Aquí los dejo a ustedes para que directamente consulten estas interrogantes y así lean el libro. Pero Javier no discute lo que me interesa más a mí, que no es el número total de células microbianas que tenemos (que sospecho es muy dinámico), sino el número de genomas (especies) diferentes y qué genes tendría lo que podríamos llamar el “pangenoma” del humano más el de todos sus microbios, no solo de bacterias, sino arqueas y eucariontes. Tampoco considera que el microbioma no solo está en el tracto digestivo: falta el de la piel, el del tracto excretor, del respiratorio, el que se encuentra en la boca y la nariz y, en general, en todo el resto de nuestro cuerpo, que parece que es muchísimo más grande que nuestro modesto complemento de genes humanos. El genoma humano se ha estimado recientemente en solo unos 20 mil genes diferentes

que codifican para proteínas, mientras que el total de genes del microbioma humano es de al menos ¡232 millones de genes! Estos temas constituyen el corazón del primer capítulo (con el adecuado título de “Tú eres tú... aunque no mucho”).

Otro de los personajes que entrevista Javier Cruz es a Gerardo Suzán, un investigador de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, para comenzar a platicar de los conceptos una salud y ecosalud, ya que inicialmente estas ideas se originaron en la comunidad veterinaria. Un investigador muy interesante que también es entrevistado es nuestro querido amigo y exalumno René Cerritos, que fue investigador de la Facultad de Medicina de la UNAM. René tiene una amplia experiencia como microbiólogo, ecólogo (de bacterias y de chapulines) y en el uso y cultivo de insectos comestibles, y la entrevista para el libro aborda el proyecto que coordinó sobre el efecto de la “dieta mesoamericana” vs la “dieta occidental” en el microbioma de las tripas de los humanos.

Javier también platica con Rodrigo Medellín, otro apreciado colega del Instituto de Ecología de la UNAM (donde yo trabajo) al que describe como “posiblemente el ecólogo mexicano con más fama dentro y fuera del país”, juicio tal vez controversial en mi Instituto. Rodrigo ejemplifica sus conceptos de ecosalud alrededor de sus plantas favoritas, los agaves y su proyecto *bat friendly*, que no vamos a discutir hoy pero del que pueden leer en “El tequila y el murciélago: ¡todos somos *Leptomycteris!*”, en *Oikos*=18.

Los tres, Suzán, Cerritos y Medellín, ilustran las complicaciones de la ecología, en particular el concepto “ecosistema”. Brevemente, la idea que subyace a los ecosistemas es que no hay que estudiar a los organismos aislados, sino que debemos considerar a toda la comunidad biológica (plantas, animales, hongos, microorganismos y virus) junto con su ambiente abiótico (sus aspectos físicos y químicos). Javier dirige las entrevistas para ligar el concepto de ecosistema e ilustrar cómo todo el ecosistema afecta nuestra salud. Estos son los temas que se desarrollan en el segundo capítulo: “Una (eco) cita (eco) médica”.

En el capítulo 3 (“Yo soy yo y mis ecos”) se discuten ideas sobre la salud y las enfermedades. Para esto, primero entrevista a Mashelli Conteras, que en su tesis de posgrado exploró la historia de la salud ambiental. Esta joven historiadora platica cómo han cambiado en el tiempo nuestras ideas de las causas de las enfermedades, para así ligar la ecología con las enfermedades. El capítulo se complica cuando entrevista a Alejandro Frank, buscando entender mejor a los seres vivos y a los mismos, los ecosistemas como “sistemas complejos”. Alejandro Frank es un conocido físico de la UNAM, que entre muchas cosas fue fundador y director del Centro de Ciencias de la Complejidad-UNAM. Las preocupaciones de Javier rondaban en entender cómo pueden ser estables los ecosistemas, a pesar de su complejidad, en particular gracias a su robustez y adaptabilidad frente a cambios de todo tipo, ligando a las enfermedades con estos cambios ambientales. El resultado de esta entrevista es más bien complejo, y mejor les pido a los lectores que vean ellos mismos los en el libro las discusiones

entre Javier y el Dr. Frank. El capítulo concluye revisando ideas y entrevistas previas de Miguel Equihua, un querido ecólogo del Instituto de Ecología, A.C. (o sea, no es de mi Instituto de Ecología-UNAM), de cómo lograr un “desarrollo sustentable” preservando el funcionamiento (podríamos decir aquí la salud) del ecosistema.

En el capítulo “Cuántos somos y qué comemos” retoma las ideas de René Carritos, Rodrigo Medellín y otros de los mencionados arriba, para comprender el papel de los humanos en los ecosistemas y cómo estos cambios (usualmente para mal) se ligan con nuestros microbiomas (o sea, el análisis del holobionte humano) y otros organismos. Revisa con cuidado los artículos del grupo de René, que busca explicar y documentar cómo la dieta moderna (“la dieta occidental”) puede afectar el microbioma del intestino humano y cómo este microbioma alterado a su vez afecta los tejidos del intestino al disparar “inflamación y respuestas inmunitarias”.

Pero a fin de cuentas, ¿qué es *One Health* y cómo se liga al programa de *ecosalud* (como se llama la serie de libros)?; ¿cómo se definen?, ¿son o no lo mismo? Javier intenta que Gerardo Suzán y Rodrigo Medellín le contesten explícitamente esto, pero ambos le dan largas: Javier menciona que Gerardo le dijo “si quieres, podemos discutirlo”, pero en realidad nunca pareció muy interesado. Rodrigo le comentó que “valía la pena pensar más en el asunto”, pero nunca lo hizo (bueno, igual sí lo pensó, pero no se lo dijo a Javier, o él ya no lo puso en su libro).

Un investigador joven de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM, el Dr. Hugo Mendoza, sí pintó su raya: “*Ecosalud* lo hacen más bien biólogos y ecólogos. *Una salud* son veterinarios. Hay un rango completamente distinto” (?). Bueno, a mí como ecólogo me sorprendió esta “definición”, ya que nosotros, aunque ecólogos, siempre hemos pensado, usado y publicado artículos con la idea de *One Health*. Es decir, debemos considerar no solo las enfermedades en los humanos o en los animales como vectores y reservorios de enfermedades, sino también entender la ecología completa del problema. Estos son los temas que trata de resolver Javier en el capítulo “Eco(1) salud” y los enmarca alrededor de la pregunta “¿Puede estar sana la gente en un mundo enfermo?” Obviamente, para mí la respuesta corta es un enfático NO, y me parece que no tiene caso pelearnos por las definiciones y las diferencias entre *One Health* y *Ecosalud*, y que podemos usar estos dos términos indistintamente, como sinónimos.

En el último capítulo, “El increíble crecimiento menguante”, Javier retoma su preocupación por la tensión entre sus dos “ecos”: las ideas clásicas y dominantes de la economía y lo que nos dice la ecología, y la relación entre ambas. Específicamente, se refiere a que la economía pretende explorar y usar la naturaleza como si fuera inacabable, buscando así un crecimiento ilimitado, mientras que la ecología nos demuestra que la naturaleza es frágil y por lo tanto el crecimiento debe ser sustentable y limitado. Javier llega a la idea de que sí podrían conciliarse ambas disciplinas usando nuevas visiones de una economía limitada al estilo “lo pequeño es hermoso”, de E.F.

Schumacher (i.e., economía como si la gente importara), y las ideas actuales de sustentabilidad. Una conclusión relevante para el libro y la colección puede resumirse en esta cita (pág. 189): “Investigaciones médicas han demostrado que la calidad de las relaciones de los humanos con el ambiente viviente es un determinante fundamental de la salud de las personas”.

Creo que el libro de Javier es una excelente introducción a las ideas de *One Health* y a la serie de libros, aunque tal vez me hubiera gustado que fuera un poco más corto y conciso. Las entrevistas son buenas, pero hay mucho material de diferentes documentos y siento que en algunos puntos faltó condensar tanta información y presentarla de manera más concreta. Incluye además ocho hojas de referencias, junto con numerosos pies de página, así que es realmente un tesoro de información del tema para la gente seriamente interesada.

### Los virus

En un estilo completamente diferente —aunque en el mismo formato editorial— tenemos el siguiente libro de la colección: *Virus en todas partes: globalización y pandemias*, escrito por otros queridos colegas, Ana Lorena Gutiérrez Escolano y Juan Ernesto Ludert León. Y sí, obviamente desde la crisis de la pandemia de COVID, los virus han estado constantemente en nuestra mente, ¡pero no necesariamente los entendemos!. Quién mejor para hablarnos de su biología, historia natural, funcionamiento y relevancia médica y para la salud planetaria que estos dos investigadores del Cinvestav-Zacatenco. Ambos tienen una amplísima experiencia en el estudio moderno de los virus, especialmente los asociados con animales, como los transmitidos por mosquitos (p. ej., el dengue, el zika o la fiebre amarilla) o los calicivirus felinos.

Este es mi libro favorito de la serie: no sólo es el más compacto (solo 107 páginas) sino también el que siento más claro y directo y que denota el esfuerzo de los autores por redactarlo de manera amena. El libro se compone de numerosos pero muy breves capítulos, ilustrados con figuras claras y relevantes, y al final de cada capítulo incluye “Datos curiosos”, que creo pueden motivar e interesar a los lectores, especialmente a las y los más jóvenes. Al final este libro incluye un glosario para ayudar con las definiciones de muchos términos técnicos. Este libro, además de platicarnos todo lo que necesitamos o quisiéramos saber sobre la biología de los virus, sus tipos y las enfermedades que causan, es una excelente introducción a la biología molecular y en general a la biología moderna. Por eso lo recomiendo entusiastamente no solo para el público general, sino también para que se use y discuta en cursos de secundaria, preparatoria y en los primeros semestres de la universidad.

Los diez capítulos inician con la historia de la virología. Las enfermedades que causan los dichos virus son bien conocidas por los terribles daños que han infringido a la humanidad, como la viruela, que causaba 70% de mortalidad en las poblaciones infectadas, o la fiebre amarilla, que limitó la colonización europea y su explotación de los trópicos por muchos años.

El problema del estudio de los virus es que por su tamaño no son visibles con los microscopios ópticos, ni con los mejores. Se descubrieron experimentalmente al infectar plantas de tabaco con fluidos de muestras filtradas, aparentemente libres de células y agentes infecciosos según las observaciones microscópicas (de allí el viejo término de “virus filtrables”). Así, los primeros reportes de existencia de virus datan de apenas 1892 y el primer virus humano fue descrito hasta 1901, cuando el cubano Carlos Juan Findlay descubrió el virus de la fiebre amarilla. Los autores revisan después la estructura molecular de los virus, sus mecanismos de replicación (si son de ADN o ARN, etc.) y su clasificación, y describen cómo infectan a las células, por qué son patógenos y cómo atacan a los animales y las plantas.

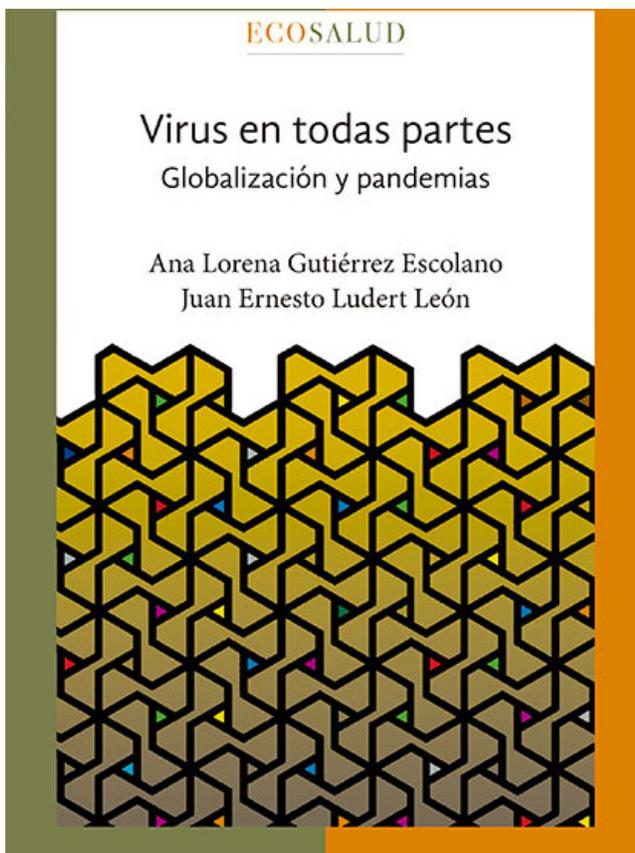
También nos platican de los principales virus en humanos y los tipos y relevancia de las vacunas, ideas tan importantes en estos tiempos de confusión y estulticia antivacunas. Dedican dos capítulos a los temas que son su especialidad: las infecciones virales transmitidas por vectores y las zoonosis —o sea, enfermedades que tienen los animales pero que se pueden transmitir a los humanos y constituir enfermedades emergentes. En particular analizan enfermedades que transmiten los mosquitos, como el zika, fiebre amarilla, dengue, chikungunya, etc. Discuten posibles mecanismos biológicos para el control de los mosquitos y de esta forma llegan a las enfermedades que transmiten. Así es como los autores revisan el tema de la serie, que ellos llaman “una sola

salud”, mostrando la unidad entre seres humanos, animales, plantas y medio ambiente.

Una idea que existe desde hace muchos años —casi desde el principio de la virología científica— es usar virus que atacan bacterias como un mecanismo de control alternativo (en vez de antibióticos) en enfermedades de origen bacteriano. Esto se describe con claridad en el capítulo que habla del posible uso de retrovirus para, por ejemplo, introducir genes particulares al genoma de ciertas células. De esa forma se podría insertar genes para la producción de insulina en células del páncreas de pacientes diabéticos y otros para control de enfermedades, en lo que se llama “terapia génica”, metodologías que siguen siendo experimentales y controversiales. También se menciona la idea de usar adenovirus —relacionados con virus como el causante del resfriado común— para producir vacunas, emplear virus para introducir genes en plantas para producir vacunas comestibles, hacer plantas resistentes a infecciones o adaptarlas a condiciones de sequía o salinidad. Pero como reconocen los autores, la discusión sobre las plantas transgénicas sigue siendo un debate abierto, especialmente en México.

Al final del libro, el capítulo “Virus en todas partes” nos habla de la nueva virología ambiental. Estas investigaciones han encontrado más de 90 familias de virus con miles de virus (potencialmente millones) diferentes. Se ha estimado que existen en la Tierra 10<sup>31</sup> partículas virales, ¡o sea muchísimos virus!, y que son especialmente abundantes en los océanos, donde generan gran mortandad e impresionantes cambios diarios en las comunidades bacterianas; su existencia contribuye al reciclado de los nutrientes atrapados en esas bacterias y de esta manera promueven la diversidad. Así, se ha estimado que hay 10 millones de virus por mililitro de agua marina. Los autores también tratan el tema de los microbiomas y los viromas asociados a los animales, humanos y plantas, y discuten de nuevo la idea del holobionte que se trata en el primer libro de la serie, que considera que cada organismo multicelular es él y sus microbios, incluyendo los virus asociados.

En este capítulo, Ana Lorena y Juan nos presentan a los virus persistentes, aquellos que no son eliminados completamente de sus hospederos y que pueden causar enfermedades crónicas, como los herpes simples, que se expresan cuando uno se debilita o está estresado. Otros virus interesantes son los recientemente descritos como “virus gigantes” porque pueden medir 10 o más veces que los virus normales, con genomas de hasta 2,500 genes —tantos como algunas bacterias de vida libre, mientras que virus como el dengue o el zika solo tienen 10 genes. Entre otros virus interesantes, nos platican de los virus caníbales o virófagos (que infectan a otros virus) y los virus extremófilos (que atacan microorganismos que viven en ambientes extremos, es decir, viven en lugares muy calientes o muy fríos, muy salados, extremadamente ácidos o alcalinos) y por qué para soportar las condiciones extremas sus proteínas y material genético deben ser muy estables. Mencionan que dichos virus son de gran interés en biofarmacéutica porque pueden servir para desarrollar enzimas



que degraden las paredes celulares bacterianas y otras útiles para atacar bacterias patógenas o que podrían servir como alternativa a los antibióticos.

El libro concluye con estas ideas: “Los virus seguirán siendo nuestros maestros y dependerá de nosotros cómo nos seguirán sorprendiendo: si a través de nuestro ingenio para estudiarlos o como consecuencia del abuso de nuestro entorno natural”.

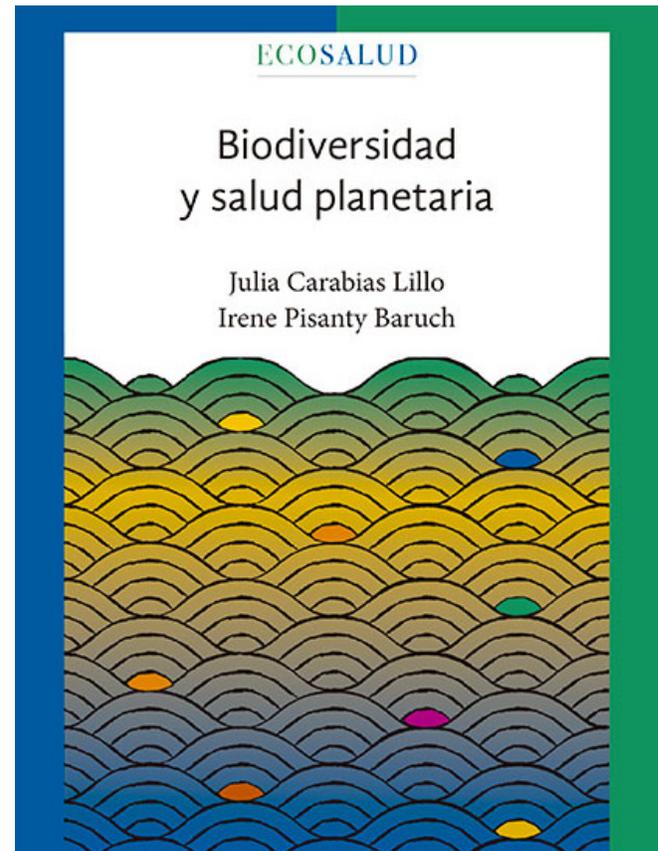
### La biodiversidad

Dos queridas maestras de ecología de la Facultad de Ciencias de nuestra universidad, Julia Carabias Lillo e Irene Pisanty Baruch, escribieron el tercer tomo de la colección. Las dos tienen una notable carrera tanto en conservación como en investigación, además de mucha experiencia docente; en su libro *Biodiversidad y salud planetaria* tratan sobre diferentes aspectos de la crisis ecológica que estamos sufriendo. Su notable carrera docente y científica se refleja en su obra.

El libro se centra en una persona, real pero desconocida, el ser humano ocho mil millones, que nació en el año 2022, y analizan qué mundo le va a tocar vivir a esa persona que llaman OmiMi (i.e., Ocho Mil Millones). Su esperanza de vida, si es mujer, es de 78 años, que cumplirá en 2100, cuando el mundo va a sufrir los efectos de la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. El libro describe estos problemas, los cambios ambientales, sus posibles soluciones y el efecto de probables medidas para mitigarlos.

Esta obra me parece bien escrita e ilustrada de manera clara, profesional y muy didáctica; trata tanto temas clásicos de la ecología científica (que en algunos aspectos puede ser muy técnica) como diferentes tópicos actuales de la crisis ambiental, e incluye muchos datos para México. A pesar de abarcar tanta información, su tamaño es intermedio respecto a los dos libros previos: 159 páginas. Una posible crítica es que algunas secciones dan mucho énfasis a los tratados y acuerdos internacionales para conservar el ambiente, de los que yo tiendo a ser escéptico. Pero la presentación del libro, tanto de la teoría como de los datos ecológicos y ambientales, así como de los problemas, es clara, científica e imparcial, y por eso lo recomiendo ampliamente. Sugeriría con especial entusiasmo que lo leyeran todas y todos los alumnos de los primeros semestres de la carrera de biología y afines.

La obra inicia explicando cómo funcionan los ecosistemas —mismos que ya habíamos visto en el libro 1 de la serie—, describiendo e ilustrando los diferentes ecosistemas acuáticos y terrestres o biomas, en particular los que encontramos en México. Aquí el énfasis está en las propiedades emergentes de los ecosistemas, o sea, que tienen características propias que no existen en sus partes por separado; estas ideas se ilustran con los flujos de materia y energía —quién se come a quién y cómo, básicamente, que toda esta energía viene de la fotosíntesis— y con los ciclos biogeoquímicos —como el ciclo del carbono, nitrógeno, azufre, agua, etc.—, que solo pueden existir a escala de ecosistema.



Unos conceptos relevantes frente al cambio global y las perturbaciones antropogénicas son la estabilidad ante los cambios y resiliencia, que es la capacidad de los ecosistemas de regresar a su estado original después de un disturbio. Javier Cruz describió esos conceptos en el libro 1 de la serie. Julia e Irene introducen además la idea de los servicios ecosistémicos, fundamentales para la vida, que generalmente tienen que ver con que se mantengan los ciclos biogeoquímicos y la biodiversidad de los ecosistemas.

Los cambios que hemos producido los humanos en los ecosistemas se han acelerado a partir de la revolución industrial, y así, la atmósfera comenzó a cambiar por el consumo de carbón y derivados del petróleo, al mismo tiempo que se inició la reducción del área de los bosques y de las poblaciones de muchas especies, problemas que se tratan en los siguientes capítulos. Estos cambios definen el llamado Antropoceno, la época cuando la acción de los humanos ya deja claramente su huella en la geología del planeta.

Un concepto interesante es el de los llamados “umbrales planetarios”, aunque también potencialmente controversial (¿cómo cuantificarlos?, ¿son adecuados?, ¿son independientes y suficientes?): se trata de una serie de nueve umbrales (resumidos en un recuadro de la página 60) que si son sobrepasados se incrementa el riesgo de cambios ambientales abruptos, tal vez irreversibles, que ponen en riesgo la vida humana en la Tierra. Estos umbrales incluyen, entre otros, el cambio climático, los

ciclos biogeoquímicos y la integridad de la atmósfera. Aquí las autoras mencionan el umbral de la reducción de la capa de ozono; se ha considerado un éxito la recuperación de la capa de ozono, en particular que se cerrara el llamado “agujero de ozono austral”, aunque datos recientes (que no se mencionan en la obra) sugieren que su dinámica es complicada y multivariada, ya que en algunos años ha sido muy grande. En diciembre del 2024 la página del *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS) informó que se redujo sustancialmente y básicamente no se sabe por qué (<https://tinyurl.com/3vfa94eu>).

¿Por qué y cómo se pierde la biodiversidad? Este es uno de los temas del título del libro y se trata explícitamente en el capítulo 3. Inicia con las famosas cinco extinciones masivas de especies animales en la historia del planeta para llegar a la idea que estamos viviendo “la sexta extinción masiva”. Algunas de las causas de esta crisis son el crecimiento de las poblaciones humanas, la destrucción ambiental para extraer y usar recursos de todo tipo para satisfacer el consumo de esas poblaciones, y la falta de planeación del desarrollo. Es decir, se usa demasiada agua, papel, energía, fertilizantes, que no solo destruyen directamente el ambiente, sino también contaminan. Y no debemos olvidar la sobreexplotación de muchas poblaciones naturales, como bosques o las pesquerías. Señalan que en México, por ejemplo, 86% de las pesquerías están sobreexplotadas.

Otra causa relevante de la extinción es el cambio climático. La desaparición de los glaciares es uno de sus elementos más dramáticos, lo mismo que el aumento de la temperatura de la atmósfera y del mar y los cambios asociados en las corrientes marinas. Estos cambios climáticos están afectando todo el funcionamiento de los ecosistemas. Las autoras sostienen que para México el cambio ya es una realidad y que la temperatura ha aumentado en promedio 0.71 °C. Añaden que el incremento aparentemente ha generado sequías en el norte del país, más incendios forestales, inundaciones, olas de calor, etc. Y no hay que olvidar la contaminación de todo tipo en todos los ambientes y el efecto cada vez mayor de especies invasoras, tanto plantas como animales.

El capítulo 3 termina ligando la biodiversidad con la salud planetaria, que es parte del título del libro, ya que todo lo anterior disminuye la calidad de vida, la salud humana y la de los seres vivos, al mismo tiempo que favorece el surgimiento y resurgimiento de enfermedades que ya todos conocemos. La conclusión del capítulo es que “no podemos seguir haciendo lo mismo” porque la pobre de OmiMi tendrá que lidiar con todos estos problemas. Pero, si le sirve de consuelo a OmiMi, lo hará con más información y herramientas de las que tuvimos nosotros.

Los últimos dos capítulos son más optimistas y plantean respuestas y soluciones. El capítulo 4 trata de las “Nuevas visiones sobre el desarrollo ante la emergencia ambiental” y recalca el importante efecto de la investigación de los químicos Sherwood Rowland y Mario Molina en 1974. Estos científicos estudiaron cómo diferentes gases producto de la industria moderna causaban la destrucción de la capa de ozono —capa indispensable para la

vida— y cómo, a partir de sus estudios científicos, se logró el acuerdo internacional conocido como el Protocolo de Montreal (firmado hasta 1987, o sea, pasaron más de 10 años para que se tomaran en serio sus resultados) para eliminar la producción de estos compuestos químicos. Recordemos que Rowland y Molina estudiaron los gases clorofluorocarbonados o CFC —empleados como propelentes de aerosoles y en la refrigeración—, que degradan el ozono. El incremento en el agujero de ozono austral que mencionábamos arriba podría sugerir que la dinámica del ozono atmosférico sea más complicada de lo que Rowland y Molina plantearon.

También se destaca la labor de Rachel Carson, especialmente con su obra clásica *Silent Spring* (Primavera silenciosa), de 1962, en la que documentó el terrible efecto del DDT en los ecosistemas y que eventualmente logró la eliminación (casi) total de su uso —excepto en caso de emergencia sanitaria, como puede suceder después de un huracán, cuando se espera que incrementen las poblaciones de mosquitos que transmiten paludismo o malaria. La prohibición internacional de DDT tomó finalmente muchos años más, ya que esto ocurrió hasta 2004.

Además, el capítulo 4 trata de los nuevos paradigmas de desarrollo —mismos que se discuten en el último capítulo del primer libro de la serie. Julia e Irene revisan las ideas de Ignacy Sachs y Enrique Leff sobre lo que llamaron el “ecodesarrollo”. Relacionan el concepto con las ideas de E.F. Schumacher, de lo “pequeño es hermoso”, que se mencionan en el libro 1 y que nos llevan a los conceptos actuales de desarrollo sustentable.

Este extenso capítulo revisa los diferentes acuerdos internacionales que emanan de la ONU. El primero es la Cumbre de Estocolmo de 1972, centrada en el efecto de la contaminación en los humanos. Le siguió la Cumbre de Río de Janeiro de 1992, donde se adoptó el término “desarrollo sustentable” y se acordaron convenciones futuras para combatir el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad. A pesar de que se cumplieron acuerdos y se lograron avances, los problemas ambientales siguieron creciendo, y así en el 2000 se propusieron los famosos “Objetivos para el Desarrollo del Milenio”, que sirvieron para revitalizar la agenda del desarrollo sustentable. Pero otra vez, la mayoría de estos objetivos no se alcanzaron, por lo que en 2015 se propuso un nuevo acuerdo, la Agenda 2030, con 17 objetivos de desarrollo sostenible (sí, lo escribí diferente, pero uso los dos términos como vienen en el libro, y se considera actualmente que ambos son aceptables) que se detallan en un recuadro del libro (pp. 107 a 109).

También se describen diferentes acuerdos ambientales multilaterales entre los que destacan las famosas 20 Metas de Aichi, del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, que de nuevo no se cumplieron plenamente y que entre otros puntos trataban del incremento de las áreas protegidas y para disminuir la pérdida de biodiversidad. El nuevo marco actual es el de Kunming-Montreal de finales del 2022, que Jorge Soberón ya revisó en estas páginas (*Oikos=* 28) (<https://tinyurl.com/bdzf2exn>), donde se propone para el 2030 (¡en tan solo siete años!) que se conserve al

menos 30% de todos los ecosistemas de particular importancia, que 30% de los ambientes degradados estén en restauración y que se reduzca la tasa de extinción a la décima parte de la tasa actual, entre otros ambiciosos objetivos.

También se menciona el famoso acuerdo de París, de 2015, sobre cambio climático, para limitar el incremento de la temperatura a un máximo de 2 °C de los niveles preindustriales, y sobre la necesidad de redoblar el esfuerzo para no superar 1.5 °C. Pero según algunas noticias recientes, el umbral de 1.5 °C ya lo superamos en 2024. Este acuerdo es del que salieron los Estados Unidos de América recientemente. Hay otros acuerdos internacionales sobre diversidad, como la CITES para el comercio de especies silvestres, o el RAMSAR para la conservación de humedales. En otro recuadro (pp. 114 a 115) las autoras nos muestran la historia del proceso de creación de capacidades para la gestión ambiental en México, que se inició en 1971 para preparar la Cumbre de Estocolmo, la primera Cumbre del Clima.

Las autoras concluyen este largo y substancial capítulo indicando que consideran que sí se puede avanzar en proteger el ambiente, recuperar la salud planetaria y lograr un desarrollo sustentable, indicando que “la ruta está trazada y es correcta”. Pero las soluciones no son simples, y así mencionan una larga lista de obstáculos para acelerar el paso y alcanzar estos objetivos. En muchos casos el problema principal parece ser que no hay voluntad política de los tomadores de decisiones. Si repasamos la historia al respecto, está llena de avances y retrocesos, pero Julia e Irene consideran que la situación actual y lo que va a enfrentar OmiMi es mucho mejor que lo que sufrimos nosotros en el pasado.

En el último capítulo, “Hacia un mundo sustentable”, las autoras evalúan lo que debemos hacer sin mayor demora: mantener todos los ecosistemas que aún están en buen estado, conservándolos con la menor intervención humana posible y preservándolos como áreas naturales protegidas. Aquí incluyen un recuadro y figuras resumiendo información de las áreas naturales protegidas en México para detallar y explicar su importancia.

También describen otros instrumentos para la conservación, como el pago de servicios ambientales, el manejo de vida silvestre —en particular en las llamadas UMA, las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre—, el manejo forestal sustentable y el ecoturismo, además de la restauración de los ecosistemas. Se incluyen también resúmenes de cada uno de estos temas en recuadros muy informativos.

Julia e Irene terminan el capítulo mencionando que se debe desarrollar un sistema alimentario sustentable que garantice una correcta y sana alimentación a todas las personas. Junto con esto, señalan la relevancia de mantener la agrobiodiversidad, tan importante en México. También hablan de cómo reducir el impacto ecológico de la ganadería con esquemas de sistemas agropecuarios regenerativos y de evitar la sobreexplotación pesquera.

El libro termina con una reflexión bioética centrada en los retos ambientales que enfrentarán OmiMi y sus contemporáneos.

La idea básica es retomar la visión de muchos grupos humanos originales y las ideas de Aldo Leopold de reconocer una “comunidad de la Tierra” que abarca a todos los seres vivos y a los ecosistemas, mismos que merecen justicia al igual que los humanos. Leopold llamó a estas ideas “la ética de la Tierra”. Julia e Irene concluyen: “Así, con toda certeza, por medio del aprovechamiento de todo lo que la ciencia, la tecnología y la experiencia han puesto en la ruta de OmiMi es que podrá festejar, a sus 78 años, la llegada de un nuevo siglo promisorio en que las crisis ambientales habrán quedado superadas”. Amén, ojalá así sea.

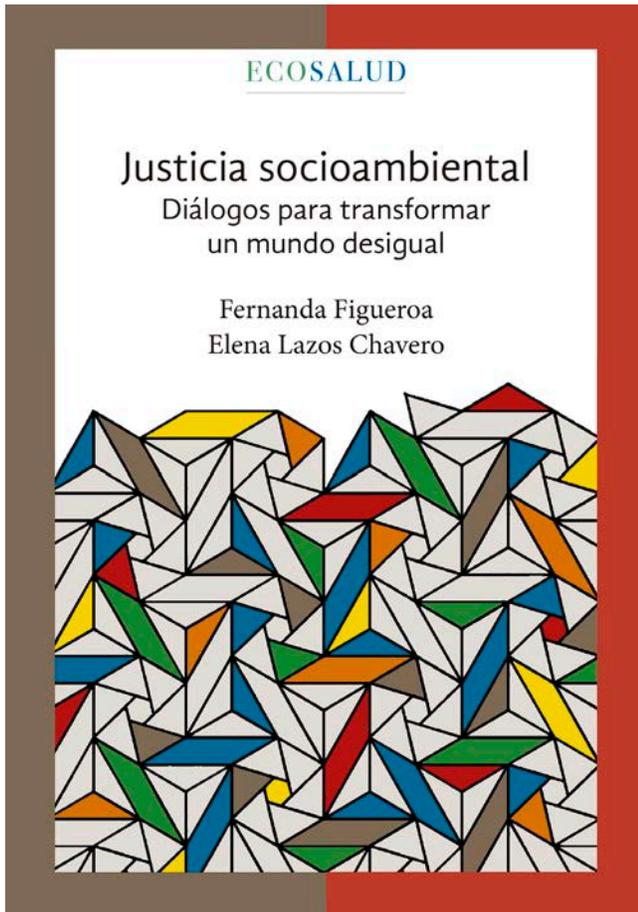
### La justicia

El último libro publicado hasta la fecha en la colección, *Justicia socioambiental: diálogos para transformar un mundo desigual*, tiene otra vez un tamaño intermedio, 155 páginas, y fue escrito por dos investigadoras de nuestra universidad, Fernanda Figueroa, de la Facultad de Ciencias, y Elena Lazos Chavero, del Instituto de Investigaciones Sociales. Ambas son biólogas, las conocí hace años de manera independiente, cuando Fernanda aún trabajaba con análisis de la distribución de los mamíferos junto a mi amigo Héctor Arita, y a Elena hace más tiempo, cuando comenzábamos a estudiar biología con el resto de nuestra generación en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

La obra comienza describiendo el huracán Katrina en Luisiana en 2005 y los daños que causó, que fueron desproporcionadamente más impactantes para las comunidades más pobres de Nueva Orleans. Usan este ejemplo para explicar lo que llaman injusticias socioambientales, que convirtieron éste en un caso paradigmático porque involucró graves negligencias gubernamentales que, se asegura, tuvieron su raíz en el racismo. Así, indican que su libro es un “esfuerzo por generar una reflexión crítica sobre las injusticias socioambientales en el mundo” y que relacionan la justicia con el concepto UnaSalud (sic en este libro). La Introducción de la obra ilustra las luchas socioambientales con el caso del asesinato del activista Chico Mendes en Brasil en 1988. Chico, entre otras batallas, buscaba proteger la selva amazónica de los latifundistas y ganaderos.

Este libro, en vez de directamente definir términos, prefiere plantear preguntas para caracterizar las injusticias socioambientales, por ejemplo, ¿qué harías tú frente a conflictos sobre el agua, la basura tóxica, minas, presas y las consecuencias desiguales del cambio climático?, y así provoca a la o el lector a llegar a sus propias conclusiones y definiciones. Es un estilo que me recuerda los libros de texto de secundaria y preparatoria. De esa manera, el capítulo uno, “¿Qué es justicia socioambiental?”, nos pide a nosotros definirla, menciona diferentes fenómenos relacionados y los liga a la historia colonial, al patriarcado y a las jerarquías sociales.

Las ideas desarrolladas en el libro surgen a mediados del siglo xx en los Estados Unidos, y así nos menciona que la justicia socioambiental (JSA de aquí en adelante e ISA para las injusticias) es multidimensional, multiactoral y que está modelada por relaciones asimétricas de poder. Aquí es claro que nos hubiera



ayudado mucho un buen glosario, como en el libro de virus, pero desafortunadamente no se incluyó.

Las autoras también nos explican una clasificación de las ISA: distributivas (como el acceso y distribución del agua), de procedimiento (como poner un basurero tóxico sin una consulta a los habitantes), de reconocimiento (no respetar ni validar a los diferentes grupos humanos, sus ideas y visión del mundo) y relativas a las capacidades que tiene la gente de mejorar su vida. Termina el capítulo con una larga lista de principios de JSA (¡17!), inicialmente propuestos en 1991 en los EUA.

Los cinco pilares de la JSA son equidad, igualdad, interseccionalidad (cuando diferentes formas de desigualdad operan juntas), reducción de vulnerabilidades (que se ejemplifican con el efecto del huracán Katrina en Nueva Orleans) y dignidad, que se analizan con cuidado en el siguiente capítulo. En particular para la equidad, discuten el caso de las luchas de las mujeres mazahuas por el acceso al agua en el Estado de México. Se trata del agua que ahora abastece a la Ciudad de México por medio del Sistema Cutzamala, situación y conflicto que fue estudiado y descrito en 2010 por Anahí Gómez Fuentes y que se revisa con más cuidado en el siguiente capítulo.

Curiosamente, el capítulo tres es un pequeño manual para entender y participar (¿?) en las luchas por la JSA. Así, las

autoras dan consejos para estudiar y participar en la solución de estos conflictos. Es interesante, aunque no sé cuánto debamos y podamos incorporarnos en estas luchas, ya que el resto del texto sugiere que más bien hay que respetar la visión de otros grupos humanos (diferentes al nuestro), y que estos grupos deben realizar y conducir sus propias luchas. Creo que esto es lo adecuado, aunque nunca había pensado en estos tópicos seriamente. Así, dan ideas, metodologías y pasos para avanzar en estos objetivos; las ideas del capítulo se ilustran con el ejemplo del estudio de las mujeres mazahuas y el agua de Anahí Gómez que mencionamos arriba, y se incluye un par de buenas fotografías.

Esta obra concluye con lo que llaman “Expresiones de las JSA en la cotidianidad”. Esta sección es una serie de nueve recuadros de longitud variable (hasta de 4 páginas) escrita por las dos autoras y siete invitadas e invitados sobre justicia territorial (¿quién es “dueño” o quién administra la tierra?), j. alimentaria (que todos coman bien), la ya discutida j. hídrica, la j. climática (por ejemplo, que unos causan el cambio climático al contaminar y otros lo sufren, como Katerina en Nueva Orleans), j. energética (diferencias en el acceso y consumo de energía), j. ambiental urbana (los patrones de desigualdad urbana y a quién afectan más las lluvias extremas, inundaciones, deslaves, ondas de calor, enfermedades infecciosas), la contaminación atmosférica, la j. cosmopolita (incluyendo todo en el ambiente, es decir, para que no solo los humanos puedan vivir bien sino también las plantas, los animales y las bacterias), y relacionada con la anterior, la j. multiespecies (incluyendo no solo a los seres vivos sino a sus comunidades, ecosistemas, ríos y montañas).

La última parte del libro inicia con la conocida cita de la zorra de El principito: “solo se ve bien con el corazón. Lo esencial es invisible a los ojos”. A partir de esta cita, las autoras reflexionan sobre las coincidencias entre la JSA y las ideas de UnaSalud: “Las ISA se caracterizan precisamente por situaciones en las que se afecta al funcionamiento de los ecosistemas y los seres humanos...”

Y así concluyen: “Invitamos a evitar la inmovilidad que produce el desasosiego y, en cambio, ser conscientes de que, como dicen los zapatistas, se puede construir ‘un mundo donde quepan todos los mundos’ y en el que un mundo no destruya a todos los demás”. Otra vez, amén y esperemos siempre lo mejor.

Los libros de esta colección se pueden adquirir impresos en las librerías de la UNAM y en formato electrónico a través de [www.libros.unam.mx](http://www.libros.unam.mx) y [www.dgdc.unam.mx/libros/](http://www.dgdc.unam.mx/libros/)

**Luis Eguiarte** es investigador del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Departamento de Ecología Evolutiva. Estudia la ecología y evolución de las plantas, bacterias y animales de México, usando marcadores genéticos. Es editor de Oikos=.

