

ECOFRONTERAS

ISSN 2007-4549

Revista cuatrimestral de divulgación de la ciencia · ECOSUR · vol. 23 · N° 67 · septiembre/diciembre 2019

¿QUÉ ES LA BIOTECNOLOGÍA?

Ética en la actividad científica

Diminutas y valiosas
hidromedusas





Laura López Argoytia

Editora

Rina Pellizzari Raddatz

Diseño, diagramación interior e ilustración de portada

Carla Quiroga Carapia

Ecofronteras digital

David Herrera López

Asesoría temática del número

Martha Duhne Backhaus

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.

Rocío Ledesma Saucedo

Instituto Politécnico Nacional (revista *Conversus*)

Rolando Riley Corzo

Universidad Autónoma de Chiapas

Consejo Consultivo

Trinidad Alemán (ECOSUR San Cristóbal)

Griselda Escalona (ECOSUR Campeche)

Martha García (ECOSUR Chetumal)

Pablo Liedo (ECOSUR Tapachula)

Fernando Limón (ECOSUR San Cristóbal)

Azahara Mesa (ECOSUR Villahermosa)

Dolores Molina (ECOSUR Campeche)

Georgina Sánchez (ECOSUR San Cristóbal)

Juan Jacobo Schmitter (ECOSUR Chetumal)

Miguel Ángel Vásquez (ECOSUR San Cristóbal)

Consejo Editorial

Corrección de estilo: Magdalena Jiménez y Laura López. Distribución general: El Colegio de la Frontera Sur (Esthefania Munguía). **Ecofronteras**, Vol. 23, Número 67, septiembre-diciembre de 2019, es una publicación cuatrimestral de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), con domicilio en Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora, C.P. 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, Teléfono: 967.674.9000 www.ecosur.mx.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2010-121518142600-102. ISSN 2007-4549. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título núm. 13743, y Licitud de Contenido núm. 11316. Ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Editora responsable: Laura López Argoytia. Publicación impresa por Editorial Fray Bartolomé de Las Casas, Pedro Moreno 7, Barrio de Santa Lucía, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Tel. 967.678.0564. Este número se terminó de imprimir el 30 de agosto de 2019, con un tiraje de 1,000 ejemplares.

El contenido de los artículos es responsabilidad de autoras y autores. La adecuación de materiales, títulos y subtítulos corresponde a los editores. La reproducción total o parcial de los textos e imágenes contenidos en esta publicación requiere autorización: llopez@ecosur.mx. Ecofronteras pertenece al Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT, y está integrada al catálogo de Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), así como a la base de datos con formato de colección a texto completo LatAm Studies (Estudios especializados en América Latina y el Caribe).

INDICE

DENUESTROPOZO

Editorial

David Herrera López

¿Qué es la biotecnología?

Blanca Estela Barrera-Figueroa y Julián Mario Peña-Castro

Las enzimas y la vida

David Herrera López y María de los Ángeles Calixto Romo

Herramientas moleculares y súper microbios

María Eugenia Guazzaroni y Gerardo Ruiz Amores

Los mutantes en mi mesa

Julián Mario Peña-Castro

Ya en serio, ¿yo utilizo OGM?

David Herrera López y Griselda Karina Guillén Navarro

Biomarcadores para salvaguardar la vida de fauna acuática

Teresa Álvarez Legorreta

MIRANDOALSUR



APUERTASABIERTAS

Ética en la actividad científica

Luis Alfredo Mayoral Gutiérrez y Juan Gerardo Martínez Borrayo

¿Conviene dragar los cuerpos de agua en las áreas protegidas?

Carolina Velázquez Pérez

Diminutas y valiosas hidromedusas

María A. Mendoza-Becerril, Laura López Argoytia y José Agüero

ENTREVISTA

Anfibios y reptiles, príncipes encantados del bosque. Conversación con Luis Antonio Muñoz Alonso

Elena Anajanci Burguete Zúñiga

DELITERATURA Y OTROS ASUNTOS

Pez león, invasor del Caribe

Fotografía: Humberto Bahena



1

2

6

9

12

16

18

21

22

26

30

34

38

Editorial

BARRERA-FIGUEROA. Secuencia de ADN horizontal.

La biotecnología en general y una de sus aplicaciones: el desarrollo de organismos genéticamente modificados (OMG), han sido motivo de fuertes controversias en la actualidad, en especial por su uso en cultivos agrícolas. Sin embargo, la biotecnología ha estado presente en la vida de los seres humanos desde hace miles de años y se ha utilizado ampliamente en el desarrollo de vacunas, medicinas, alimentos y diversos materiales de uso común, incluso como estrategia para reducir la contaminación derivada de prácticas industriales.

En este número de Ecofronteras buscamos dar a conocer qué es la biotecnología, cómo funciona, para qué sirve y cuáles son sus principales aportes. Sin ella no habría maíz, inada menos! O bien, los tratamientos para pacientes diabéticos seguirían implicando graves riesgos a causa de reacciones alérgicas, por mencionar ejemplos muy evidentes.

La revista comienza con un artículo que nos introduce al campo de conocimien-

to de la biotecnología a partir de la creación de la vacuna contra la poliomielitis, y luego aborda el tema de la bioética y la legislación para el buen uso de esta práctica. En el texto siguiente adentramos al público lector al mundo de las enzimas, con el fin de explicar su función en los organismos y como herramienta biotecnológica que ofrece valiosas aplicaciones en la industria y en el hogar.

El tercer trabajo explica de manera resumida el uso de las herramientas de biología molecular; los autores nos hablan de su origen y de su campo de aplicación con algunos ejemplos, destacando la enorme potencialidad de los microorganismos, comúnmente llamados microbios. Posteriormente presentamos un interesante artículo que documenta las mutaciones que a lo largo del tiempo han sufrido varios productos alimenticios muy comunes, mediante procesos de selección y modificación; el paso del teocintle al maíz es la prueba más emblemática.

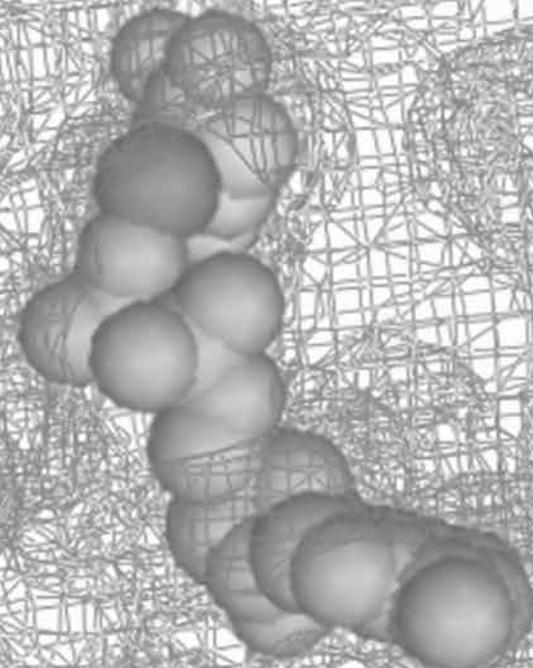
A continuación ofrecemos un texto que hace mención de los OGM y su presencia en muchos de los productos que usamos diariamente, ya sean alimentos, ropa, fármacos u otros. Para concluir, la autora del último material nos explica algunas formas en las que la contaminación afecta los ecosistemas y cómo podemos evaluarla con el uso de biomarcadores; los casos de cocodrilos, medusas y tortugas en Quintana Roo son una muestra de esta aplicación de la biotecnología ambiental, a fin de que la información sirva para reducir las fuentes contaminantes.

Agradecemos la dedicación, tiempo y esfuerzo de las personas que colaboraron para conformar este número, el cual busca acercar al público lector a la biotecnología, una valiosa área del conocimiento. Esperemos sea de su agrado.

David Herrera López, Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, ECOSUR.

DENUESTROPOZO

BARRERA-FIGUEROA. Modelo 3D de enzima hexocinasa.



¿Qué es
la biotecnología?

Desde los orígenes de la fabricación de cerveza con procesos de fermentación, hace 5 mil años, hasta las modernas técnicas de edición genética, la biotecnología ha estado presente en la historia de la humanidad, tanto en elementos de la vida cotidiana como en innovadoras fórmulas de alto impacto social, con repercusiones evidentes en temas de salud. Como es de esperarse, la ética es la mejor herramienta para regulaciones y consensos.

El piquete milagroso

En la historia de la humanidad hay múltiples narraciones sobre profetas, seres míticos y personajes literarios que poseen un toque mágico o místico que cura enfermedades. En nuestro entorno cotidiano, estos seres existen, aunque no cuentan con cualidades sobrenaturales y su toque es más bien un piquete.

El individuo con el piquete "milagroso" más citado es Jonas Salk, un médico neoyorkino que decidió enfrentar, mediante conocimiento científico, una enfermedad terrible de su tiempo: la poliomielitis. Después de muchas investigaciones, no pudo encontrar una cura, pero sí una forma de prevenir que las personas sanas no fueran susceptibles a la polio, que no presentaran malformaciones permanentes en las extremidades ni sufrieran sus efectos paralizantes que pueden, incluso, ocasionar la muerte.

El doctor Salk integró un equipo multidisciplinario de médicos e investigadores biológicos, y movilizó a la sociedad norteamericana para recolectar fondos y buscar una vacuna. Descubrieron que si se colectaba al virus que causa el padecimiento, se le hacía replicarse en el laboratorio en cultivos aislados de células de riñón de mono, y se inactivaba con un tratamiento químico, se podía producir una vacuna. Al inyectarse en tres dosis, la población infantil adquirió inmunidad a la poliomielitis y a sus graves consecuencias. Cabe mencionar que Jonas Salk no patentó su invención, la mantuvo de uso público para permitir su licenciamiento y rápida distribución por el globo. En 1955, la vacuna se empezó a aplicar masivamente, y gracias a ello y a los subsecuentes avances de investigación inmunológica, la poliomielitis es una enfermedad prácticamente erradicada en el siglo XXI.

Esta historia constituye un buen ejemplo de lo que es la *biotecnología*: el uso de se-

res vivos o de sus moléculas para obtener productos o servicios útiles a la sociedad. Se trata de una ciencia milenaria, aunque su denominación actual es relativamente reciente. Durante mucho tiempo se le llamó selección artificial, ingeniería biológica, bioquímica industrial o microbiología aplicada, pero dichos conceptos resultan muy estrechos.

La clasificación clásica del conocimiento en medicina, biología, química o física, es un método artificial para ordenar lo que sabemos e intentar especializarnos en alguna área; no obstante, la naturaleza en realidad no tiene áreas y todos sus procesos se entienden de manera multidisciplinaria. Esto es clave en la biotecnología, porque agrupa los esfuerzos de personas con distintas formaciones académicas para entender la aplicación de los seres vivos en el desarrollo de tecnologías. En tal sentido, la investigación del doctor Salk requirió personas ligadas a la medicina, epidemiología, virología, biología celular, química de proteínas, epidemiología y estadística de poblaciones. Todos los esfuerzos se dirigieron a utilizar seres vivos para desarrollar una aplicación útil a la sociedad: la vacuna contra la poliomielitis.

Con el paso del tiempo, disciplinas clásicas, como la agronomía, la medicina, la ciencia de los alimentos y la química, han incorporado a sus esquemas la definición de biotecnología, formando una red de conocimiento más integral para entender el funcionamiento de la naturaleza e incidir en ella buscando un beneficio común.

De maestros cervecedores a secuenciadores de ADN

En retrospectiva, hay certeza documental de que la biotecnología ha estado presente en la humanidad desde las primeras civilizaciones y tal vez antes. La cerveza es uno de los productos biotecnológicos clásicos de la antigüedad; hace más de 50 siglos, su fabricación estaba perfectamente sistematizada y se contaba con insumos estandarizados en China. Aunque aquellos maestros cervecedores no sabían que el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* era el responsable de transformar los azúcares de las plantas en alcohol a través de una ruta bioquímica llamada fermentación, fue obvio para ellos que en sus vasijas había un proceso de transformación que generaba un producto nuevo.



Imagen tomada de <https://bit.ly/37kiqf>



Wikimedia Commons

Si bien nos pueda resultar difícil encontrar una arista social a la fabricación de cerveza, vino y otras bebidas alcohólicas, la fermentación aumenta la vida útil de los jugos y extractos de plantas, asegurando reservas energéticas durante más tiempo. En el mismo sentido de asegurar recursos, existen otros desarrollos biotecnológicos igual de antiguos que llegan hasta nuestros días. Algunos ejemplos y sus fundamentos biotecnológicos son la producción de quesos (precipitación de proteínas para alargar su vida útil), yogurt (fermentación y acidificación de la leche para su conservación) y pigmentos (extracción de metabolitos como colorantes y conservadores). También destacan la domesticación de plantas y animales (selección de mutaciones para aumentar la productividad), uso de plantas medicinales (extracción de compuestos

químicos con actividad farmacológica) o la vestimenta (manipulación de fibras vegetales o matrices extracelulares para la protección corporal).

Todos estos usos clásicos de los seres vivos son la base fundacional que impulsó a investigar cómo mejorar los procesos y profundizar en las causas de las transformaciones de las materias primas. En el siglo XIX, tal esfuerzo involucró a varios de los científicos más famosos de la humanidad, como Louis Pasteur (microbiólogo), Gregor Mendel (botánico) y Charles Darwin (naturalista), quienes nos sumergieron en el conocimiento de los microbios, la genética y la evolución. Sus investigaciones tuvieron un fondo práctico: optimizar la producción del vino, conservar características deseables de los cultivos y explicar el proceso de domesticación de plantas y ani-

males; por lo tanto, sin que así se nombraran, eran biotecnólogos.

Ya en el siglo XX, mientras buscaba en la arquitectura de las moléculas la explicación de su función natural, la doctora Rosalind Franklin pudo fotografiar el patrón de difracción de rayos X del ADN y descifrar su famosa estructura de doble hélice. James Watson y Francis Crick, con base en el conocimiento previo, propusieron el mecanismo que explica cómo toda la información de construcción y funcionamiento de los seres vivos es almacenada, leída y ejecutada. De esta manera, nació una nueva ciencia: la biología molecular.

La era molecular

Al saber que el ADN es la molécula que se había estado seleccionando y optimizando a través de los siglos por los primeros agricultores, maestros cerveceros, ganaderos y demás biotecnólogos originales, se abrieron las puertas a la era molecular de la biotecnología. Los institutos de investigación de varias partes del mundo comenzaron a estudiar moléculas de ADN de forma masiva, y se desarrollaron métodos para leerlas eficientemente (secuenciación), almacenarlas (clonación molecular), copiarlas (reacción en cadena de la polimerasa), observarlas (electroforesis), modificarlas (mutagénesis) y finalmente, intercambiarlas (transformación genética).

Así, la biología molecular se ha combinado con la biotecnología en la búsqueda

Pilares legales y consensos de uso responsable de la biotecnología:

- ▶ *Guías profesionales de la Sociedad Internacional de Investigación en Células de Línea Germinal (ISSCR)*. Conjunto de estándares profesionales para regular la investigación y productos asociados al uso de células humanas, cuyo único fin debe ser aliviar el sufrimiento causado por enfermedades y lesiones.
- ▶ *Convención de Armas Biológicas*. Prohíbe la investigación, construcción y acumulación de armas biológicas por los países firmantes. De aplicación cuasi universal.
- ▶ *Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología*. Protege a la biodiversidad natural de cualquier riesgo real o potencial de los OGM vivos. Sirve para tomar decisiones científicamente informadas en el transporte y uso de los mismos. Son pocos los países no adheridos, como Estados Unidos e Israel.
- ▶ *Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados*. Deriva del protocolo anterior y en sus planteamientos destaca el derecho de las comunidades a oponerse al cultivo de transgénicos en sus tierras, a que no se cultiven cerca de los orígenes de diversidad de las plantas nativas y que exista vigilancia y regulación en el uso OGM en investigación y comercialización.

de los organismos más útiles para satisfacer necesidades de alimentación, salud y vestido. Ya no tenemos que rastrear durante largos periodos al mejor organismo en la naturaleza, sino que podemos conocer dónde está almacenada esa información y acelerar su disponibilidad. La nueva biotecnología molecular ha cumplido muchas de sus promesas originales, como que gracias a la lectura de su información genética, los virus causantes de epidemias (ébola o influenza, por ejemplo) son rápidamente detectados, analizados y contenidos, o bien, que de forma rutinaria se estudia la secuencia de ADN de los humanos para diagnosticar enfermedades, diseñar terapias o incluso resolver crímenes.¹

En el campo de la agricultura, al asociar lecturas de ADN con características deseables de las plantas, y a través de métodos clásicos como cruza y retrocruza, se puede seguir de forma fina su transferencia natural a través de las generaciones y su asociación con el aumento de la productividad. Muestras de esto son el arroz SUB1 que es tolerante a la inundación y se cultiva por miles de agricultores en Bangladesh, o el maíz BH661 que resiste los fuertes periodos de sequía en Etiopía. Dado que la transferencia de información genética se realiza forma natural, como se ha hecho por milenios, no está sujeta a ninguna regulación ambiental. Por otra parte, solo funciona en la misma especie o entre especies que aún conservan compatibilidad sexual.

Existen varias biotecnologías de transferencia de la información genética que rebasan la barrera de la compatibilidad sexual; en conjunto se denominan *transgénesis* y a sus productos se les llama *organismos genéticamente modificados* (OGM) o *transgénicos*. Gracias a la transgénesis, las bacterias producen proteínas humanas, como la insulina o los inhibidores TNF que aumentan la calidad de vida de los pacientes diabéticos o con artritis. Además de bacterias, existen

¹ Ver "Herramientas genéticas para proteger a la naturaleza", Ecofronteras 66, <https://bit.ly/2r8Q3ri>



JUANI CARLOS VELASCO

células animales, levaduras y hongos transgénicos que generan proteínas usadas en detergentes, medicamentos y procesos industriales desde hace tres décadas.

Recientemente, las capacidades de lectura de la información genética y por lo tanto, de la búsqueda y moldeado de nuevas cualidades en los seres vivos que nos proveen de materias primas, han llegado a niveles sorprendentes. Por ejemplo, la edición genética de alta precisión, conocida como CRISPR-Cas9, permite hacer cambios muy finos en las secuencias de ADN sin dejar cicatrices transgénicas, con enorme potencial para aumentar nuestras capacidades biotecnológicas. Se pueden remover mutaciones causantes de enfermedades mortales —como fibrosis cística—, evolucionar glóbulos blancos preparados para reconocer virus, propagar mosquitos resistentes a la malaria o al dengue u obtener plantas resistentes a la sequía.

La ética de la biotecnología

A las plantas transgénicas se les ha considerado "artificiales" por varios sectores de la sociedad; no obstante, existen desde hace miles de años sin la intervención humana. Entre los múltiples organismos vegetales que son naturalmente transgénicos y poseen genes microbianos en sus genomas, encontramos variedades de plátano, camote, camelias, tabaco y ñame. El problema real de los eventos de transgénesis no es la metodología, sino la característica específica que se transfiere; la más polémica es la tolerancia a herbicidas en plantas, principalmente el maíz, pues

el paquete tecnológico que se comercializa incluye obligatoriamente el uso simultáneo del herbicida.

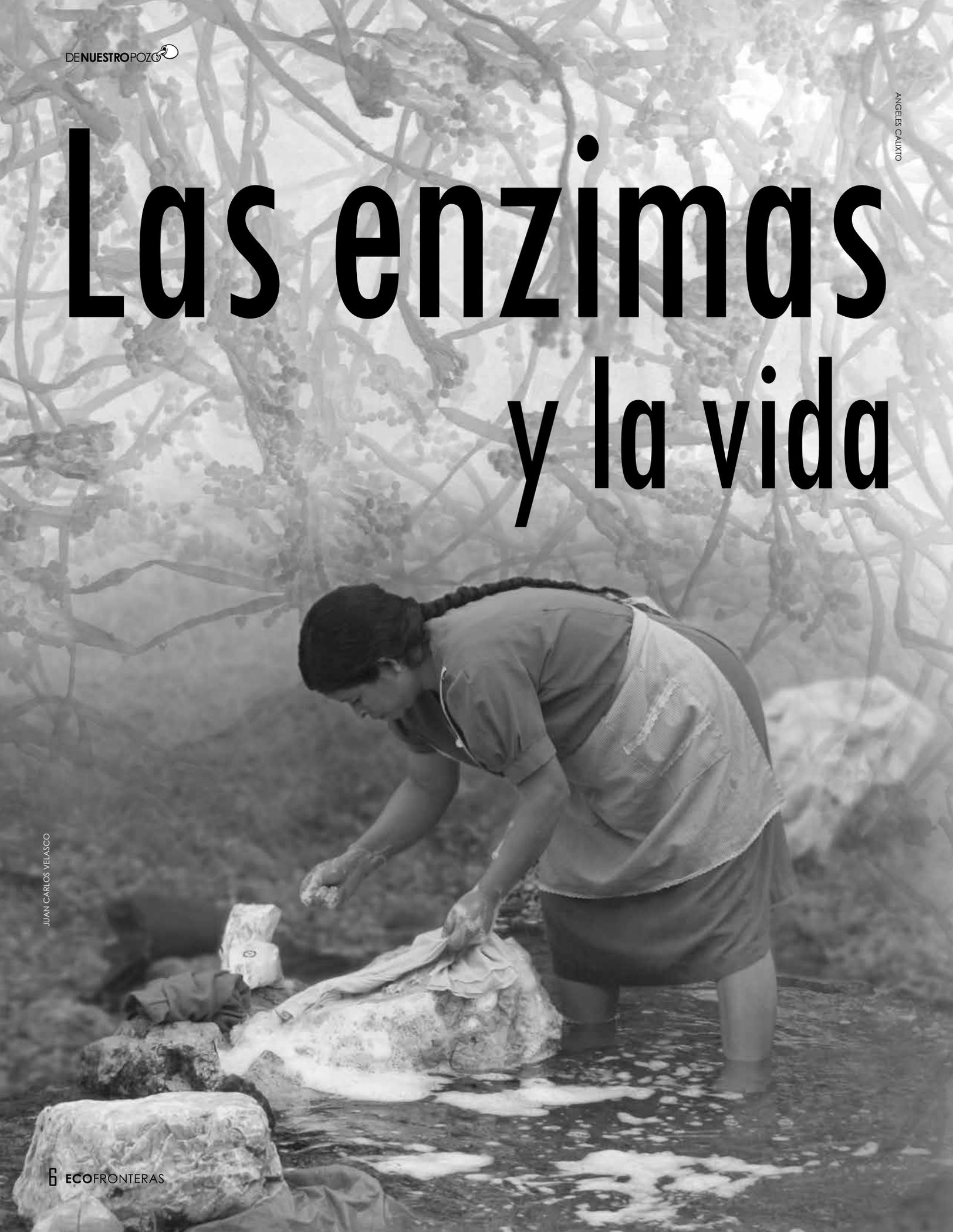
Además de este tema, se han expresado preocupaciones sobre las consecuencias del poder de alterar la naturaleza con nuevas tecnologías. Al respecto, la ética es la mejor herramienta, ya que no hay tecnología humana inocua, hasta la electricidad se ha utilizado para iluminación común o para elaborar armas de electrocución. La biotecnología, desde la clásica hasta la moderna, se podría usar para crear virus superinfectivos o para desarrollar una vacuna muy eficaz. La sociedad debe confiar en que la generalidad de la comunidad biotecnológica mundial gira alrededor de principios fundamentales de precaución y de bioseguridad, y se cultiva una solidez ética y profesional sustentada en leyes y consensos.

Adicionalmente, hay que considerar que la capacidad de modificar la naturaleza ha acompañado siempre a la humanidad. Todas las plantas, animales y microorganismos cuyos derivados empleamos a diario, fueron seleccionados por los primeros biotecnólogos desde hace decenas de siglos. Nos proveen protección (pinos), alimento (vacas, maíz), salud (plantas medicinales y proteínas recombinantes), entre otros beneficios. Sin duda, la biotecnología es una vieja compañera. 

Blanca Estela Barrera-Figueroa (bbarrera@unpa.edu.mx) y Julián Mario Peña-Castro (julianpc@unpa.edu.mx) son profesores-investigadores del Instituto de Biotecnología de la Universidad del Papalapan, Laboratorio de Biotecnología Vegetal, campus Tuxtepec, Oaxaca.

Las enzimas y la vida

JUAN CARLOS VELASCO



Las enzimas son moléculas sustantivas en nuestra vida y casi nadie lo sabe. Sin ellas sería imposible digerir, respirar y movernos, o consumir alimentos como leche y queso; además tienen aplicaciones medicinales y para reducir efectos contaminantes. Como punto medular, son la base de la actividad celular, lo que las hace indispensables, ya que todos los seres vivos están formados por células. ¿Las conoces?

Funcionamiento celular

Ya sea por broma o por genuina sorpresa, al explicar que trabajamos con enzimas ha habido quien agrega: "¿encima de qué o de quién?". Más allá de anécdotas curiosas sobre el nombre, las enzimas no solo son uno de los ejes de nuestra labor de investigación, sino que resultan imprescindibles para la vida en su conjunto. Para entender qué son, conviene explicar dónde se encuentran.

Como sabemos, una célula es la unidad fundamental de los seres vivos y se puede definir como una estructura que contiene los elementos necesarios para respirar, alimentarse y reproducirse. Las enzimas son moléculas que funcionan como herramientas de las células para acelerar las reacciones químicas que ocurren dentro y fuera de ellas; son catalizadoras de procesos.

Con el siguiente ejemplo entenderemos mejor su función. Cuando comemos es preciso que las moléculas que forman el alimento se rompan. Supongamos que consumimos un taco de carne asada. Aunque lo cortemos con los dientes, nos hace falta la ayuda de las enzimas que hay en la saliva, las cuales fragmentan el almidón contenido en la tortilla y producen moléculas más fácilmente asimilables por el cuerpo. Luego, al llegar al estómago, la comida se expone a otras enzimas llamadas proteasas, cuya función es romper las proteínas en compuestos que también son más sencillos de ser aprovechados por el organismo. En pocas palabras, sin enzimas, no podríamos digerir la comida (ni vivir).

Si consideramos que absolutamente todos los organismos están formados por células —sin importar que sean seres unicelulares y microscópicos, como las bacterias, o enormes y complejos como los grandes mamíferos—, la vida tal cual la conocemos en la Tierra no existiría sin las en-

zimas; son totalmente indispensables para la actividad celular. Gracias a ellas, las personas podemos absorber nutrientes, respirar, movernos y producir energía, entre muchas otras acciones.

Uso cotidiano en el hogar

Estas moléculas tienen una importante presencia en nuestra vida y casi nadie lo sabe. Por ejemplo, algunos detergentes contienen enzimas que ayudan a degradar contaminantes que se encuentran en las telas, como grasa, proteínas o carbohidratos provenientes de los alimentos que consumimos o de las células muertas que se desprenden de nuestro cuerpo. El efecto limpiador de los detergentes se ve favorecido por la acción conjunta de las enzimas y otros componentes, que atrapan y eliminan las manchas de la ropa.

La diferencia entre los detergentes con enzimas y los comunes es que los primeros ayudan a disminuir la contaminación ambiental, mientras que la composición de los otros se basa en moléculas sintéticas de difícil degradación, que además liberan fósforo en las aguas residuales generadas en el lavado, y esto puede provocar daños al ambiente y a la salud.

En 1913 apareció por primera vez un detergente en polvo (patentado en Alemania por Otto Rhöm) que contenía una enzima llamada tripsina, la cual se obtuvo del páncreas de un cerdo. Si bien era una novedad, tenía la desventaja de solo ser eficiente en manchas causadas por proteínas; la gran limitante es que los residuos de las prendas no solo incluyen proteínas, sino carbohidratos, lípidos, almidón, sales y otros elementos. El desarrollo tecnológico de los últimos años ha sido notable y hoy en día los detergentes con enzimas contienen a dichas moléculas encapsuladas, lo que evita que causen irritación en la piel,

mucosas o en los ojos. Dado que no generan espuma, no son del gusto de muchos consumidores, pero su uso es efectivo.

Otra muestra sencilla de la utilidad común de estas moléculas la tenemos en la cocina. Si queremos ablandar carne, funciona mantener los trozos pegados a una rebanada de piña durante unos 10 minutos o usar una semilla de papaya; pero si no contamos con esos elementos, podemos aplicar un ablandador especial, compuesto por una mezcla de enzimas capaces de romper las proteínas de la carne que estamos preparando, para mejorar su textura.

Producción de enzimas

Las enzimas se obtienen básicamente por cultivo de los organismos que las producen, ya sean bacterias, arqueas, levaduras, hongos, plantas o insectos, los cuales comúnmente las generan para su metabolismo; sin embargo, debido a sus propiedades, se han cultivado para aprovecharlas de otra forma. El cuadro 1 nos muestra de manera muy sencilla de dónde se obtienen varias de ellas, de uso cotidiano.

Enzimas vs. contaminación

Una de las industrias que más contamina el agua es la de la celulosa y el papel (procesamiento de la madera a fin de obtener pulpa o pasta para producir papel). La madera contiene gran cantidad de una sustancia llamada lignina, misma que de no ser removida, provoca que la pulpa y el papel presenten un color oscuro. Se necesita una fase de blanqueado con manejo indiscriminado de ácido sulfúrico o cloro. Al final, si las aguas residuales no son tratadas de manera adecuada, deterioran los cuerpos de agua, total o parcialmente, incluyendo los ecosistemas que dependen de las lagunas, ríos o mares. Además, se ejecuta un procedimiento térmico de explosión

Cuadro 1. Organismos productores de enzimas y aplicación.

Enzima	Aplicaciones	Organismos que las producen de forma natural	Organismo productor para fines comerciales
Proteasas	Suplementos alimenticios, fármacos	Bacterias, hongos, levaduras, plantas, animales, algas	Plantas
Lipasas	Detergentes, fármacos	Hongos, levaduras, bacterias, animales superiores	Animales
Celulasas	Clarificación de jugos, industria textil, industria de la celulosa y el papel, biocombustibles	Hongos, levaduras, bacterias	Hongos, levaduras
Oxidorreductasas	Degradación de contaminantes	Hongos, levaduras, bacterias	Macromicetos
Amilasas	Biocombustibles, detergentes	Hongos, bacterias, animales superiores, plantas	Hongos, levaduras, bacterias

por vapor para remover la lignina, y como consecuencia, se debe utilizar más energía (recordemos que si la energía procede de la quema de hidrocarburos, resulta un factor muy contaminante).

Por fortuna, existen enzimas que nos ayudan a blanquear —lacasas y xilanasas— y generalmente provienen de hongos. Degradan la lignina y trabajan en rangos de temperatura ambiente, lo que disminuye la energía requerida y no representan un riesgo para el medio.

Por otra parte, a quienes gusten de usar artículos de piel, les conviene saber que para que esta se suavice y sea agradable al tacto en zapatos, bolsas o cinturones, se precisa de un tratamiento que implica ácidos generadores de aguas residuales dañinas. Otra opción para lograr el mismo efecto son las enzimas (proteasas) que fraccionan algunas proteínas de la piel, haciéndola más flexible y suave.

Los procedimientos con enzimas ofrecen ventajas importantes: los productos suelen elaborarse en menor tiempo y resultan más económicos; sobre todo, se evitan compuestos contaminantes, así como el calentamiento de sustancias, lo que contribuye al ahorro de energía.

Alimentación y medicina

La industria de los alimentos es, obviamente, una de las más importantes para la vida humana, y las enzimas han desempeñado un papel milenario. La historia nos remonta a más de 5 mil años antes de Cristo, cuando eran aprovechadas para elaborar varios de los productos más consumidos: vino, cerveza, pan y queso.

De manera general, muchos alimentos se procesan con estas moléculas, como los jugos que inicialmente son de color oscuro y terminan aclarándose. Algo parecido les ocurre a las harinas que se dejan en repo-

so con enzimas para producir el pan y las bebidas alcohólicas que requieren clarificación. La leche se cuaja mediante enzimas y con ellas obtenemos queso. También se encuentran en otros productos que utilizamos con frecuencia, como ropa y combustibles.

Es muy importante destacar la situación de personas que por problemas digestivos no pueden metabolizar grasas, azúcares y otros compuestos alimenticios, de modo que se les receta el consumo de enzimas capaces de transformar el compuesto que no pueden digerir. Se hace lo mismo para ayudar con su digestión a gente recién operada. De igual modo, algunas de estas moléculas se han dispuesto como antibióticos, debido a que pueden degradar la pared celular de las bacterias.

Tal cual se mencionó anteriormente, las enzimas son herramientas requeridas por todas las células y son indispensables para la vida. Debido a su versatilidad, están presentes en múltiples artículos de la vida diaria y han sido usadas en diversos sectores productivos, destacando que su aplicación (junto con otras estrategias) puede reducir el abuso de sustancias químicas contaminantes: cloro, cromo hexavalente, ácidos inorgánicos, sales y solventes, entre otros, lo que ayuda a reducir tanto el impacto ambiental ocasionado a los suelos, agua y aire, como el daño a la flora, fauna y la salud humana. ♻️

David Herrera López (dherrera@ecosur.mx) y María de los Angeles Calixto Romo (mcaxito@ecosur.mx) son técnico académico e investigadora del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad en ECOSUR Tapachula.



RAY PIEDRA

Herramientas moleculares y súper microbios

CHOKNITI KHONGCHUM

Diminutos pero con un metabolismo versátil, los microorganismos son la base de procesos biotecnológicos "revolucionarios" en áreas de salud y alimentación, entre otras. Son pequeñas fábricas de productos que buscan mejorar la calidad de vida —entre ellos, la ampicilina o la insulina humana para tratamientos de diabetes—, potenciados con algunas herramientas moleculares y sin dejar de lado la revisión de riesgos y dilemas éticos.

¿Qué es un proceso biotecnológico?

La biotecnología se puede definir como el uso de microorganismos o partes-segmentos de ellos para obtener un producto. La descripción suena sencilla, pero en la práctica ¿qué significa y cómo se hace? En el presente artículo conoceremos algunas de las aplicaciones de esta ciencia multidisciplinaria que van de la mano con valiosas herramientas moleculares.

Antes de conocerla como ciencia, los seres humanos hemos usado la biotecnología sin saberlo, mediante prácticas ancestrales que dependen de la fermentación, o dicho de otro modo, de esos minúsculos seres vivos que llamamos microorganismos o microbios (bacterias, virus, hongos y protozoos), los cuales literalmente se comen la materia: uvas, leche o azúcar, por ejemplo. Debido a un conjunto de reacciones químicas —codificadas en su información genética o Ácido Desoxirribonucleico (ADN)— transforman la materia en diferentes productos, como vino, queso o alcohol.

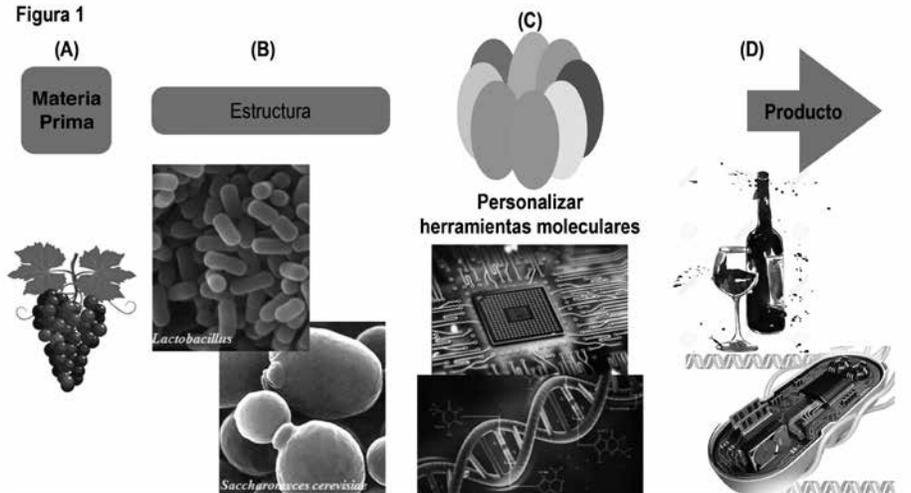
Un proceso biotecnológico abarca cuatro aspectos: a) la materia prima o alimento, b) la estructura: el microorganismo que

consume la materia, c) la herramienta molecular que se usa para proveer al microorganismo de la capacidad para aprovechar dicho alimento, es decir, la información genética como plataforma para ser modificada, d) obtención del producto deseado, que vienen a ser las aplicaciones en salud, ecología, alimentos, biología y otras, como procesos biotecnológicos finales (figura 1).

Minúsculas fábricas biotecnológicas

Los microbios o microorganismos son proveedores de soluciones tecnológicas por disponer del metabolismo más diverso y versátil de todos los seres vivos. Esto quiere decir que son capaces de efectuar transformaciones químicas de distintos tipos, de una forma económica, limpia (sin contaminar el medio ambiente) y sin sufrimien-

Figura 1



Datos	Computadora (Dell, Asus, Toshiba)	Hardware y software	Uso (videojuegos, arte, biología)
Hilo	Sastre, artesano	Tijeras, agujas, aros	Bordado, pantalones, collares
Madera	Carpintero o artista	Martillo, clavos, sierras	Cabaña, escultura, otros
Personas	Barco, avión, tren	Caminos, capacidad de lugares	Destinos: país, ciudad, etc
Materia prima	Procariota (bacteria, actino, archeae)	Genoma - plásmidos - CRISPR	Bioetanol, control biológico
Materia prima	Eukaryota (levadura, animales, plantas)	Genoma - CRISPR - TALENS	Vacunas, resistencia a pesticidas

María Eugenia Guazzaroni y Gerardo Ruiz Amores

to (sin sentir dolor, como acontece con los animales que cuentan con sistema nervioso central), lo cual facilita nuestra vida cotidiana en diversos aspectos. Son útiles en la producción de biomasa, necesaria en la elaboración de pan, la fabricación de combustibles, para el control biológico de plagas o el tratamiento de efluentes (descargas de aguas residuales y otros contaminantes). Sin ellos no podríamos disfrutar de los quesos, yogures, cervezas, vinos y otros artículos que son tan deliciosos y duran más que la materia prima con la que fueron creados.

También son grandes proveedores de enzimas, las pequeñas "ejecutoras moleculares" que permiten mejorar el sabor y la textura de los alimentos, disolver coágulos de sangre en el tratamiento de pacientes con ataques cardíacos o aumentar la eficiencia de nuestros detergentes sin gastar más agua o energía eléctrica. Además, son ampliamente utilizados en la producción de alcoholes, suplementos alimenticios y compuestos químicos, como los antibióticos. Cabe destacar uno de ellos: la ampicilina, cuyo descubrimiento, producción a gran escala y disponibilidad en las farmacias revolucionó la historia de la humanidad, pues permitió combatir infecciones simples que antes provocaban una muerte dolorosa o la amputación de miembros.

La nueva revolución industrial

Desde que en 1953 se descubrió la estructura de la molécula de ADN —compuesto con las instrucciones genéticas que definen la forma y función de las células—, los científicos percibieron que estábamos frente a una nueva "revolución industrial" llamada biotecnología, en la que los microbios, convertidos en pequeñas fábricas, pueden generar toda clase de productos de interés para el ser humano, como remedios, alimentos o combustibles. Su desarrollo ha avanzado tanto, que con las herramientas moleculares sofisticadas de la actualidad podemos conseguir que los microorganismos produzcan seda o cuero de la más alta

calidad, en grandes cantidades y a costos razonables.

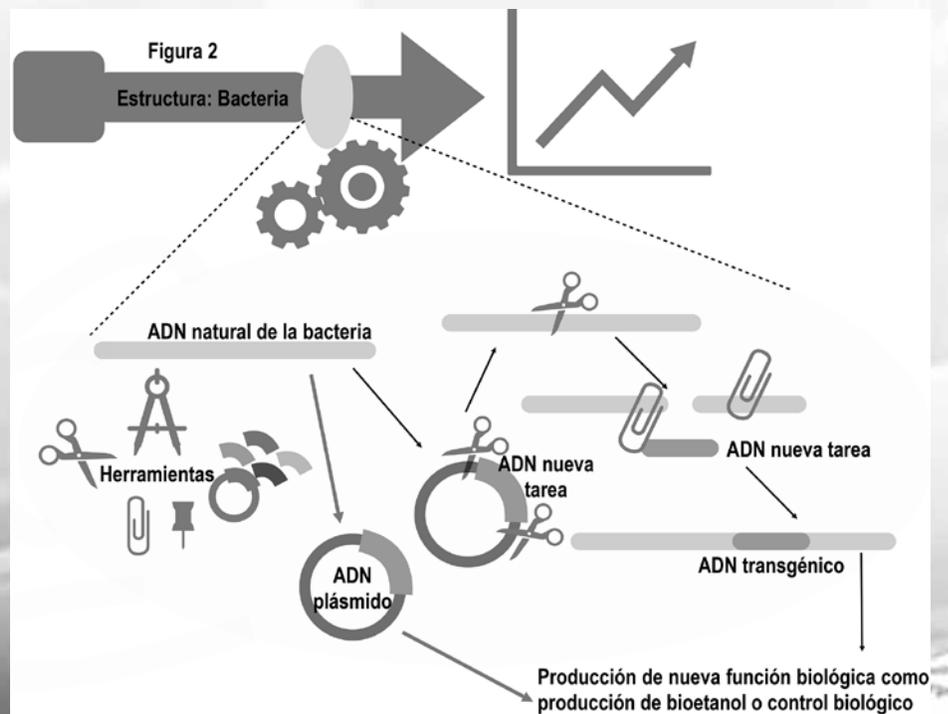
¿Cómo construimos estas fábricas de súper microbios? Aun cuando no son visibles a simple vista, sabemos que determinados segmentos de ADN presentan funciones específicas, como las de una fotocopiadora, unas tijeras o pegamento. Los plásmidos son porciones de ADN con la capacidad de multiplicarse y transmitir información para realizar una nueva tarea (figura 2, flechas anchas y largas), e incluso para generar combustible o antibióticos. Aunque poseen diversas aplicaciones, estos fragmentos pueden ser expulsados por la célula después de un tiempo y pierden la nueva función, pues cuando el microbio no necesita en cierto momento la función que carga ese ADN, lo expele porque lo hace más pesado cuando debe competir con otros microorganismos del ambiente. Por tal razón se busca crear *microbios estables* o *súper microbios*, que incluyen la reciente función insertada en su información genética.

Para lograrlo, el mejor estudio de herramientas es CRISPR/Cas9, una técnica capaz de editar la secuencia genética de las células; ha sido descrita como un mecanis-

mo natural de las bacterias para cortar y unir fragmentos de ADN con una estabilidad y eficiencia del 95 al 100% en diferentes células, y que dota a un organismo de características que le permitirán desarrollar una tarea distinta, por ejemplo, una planta puede adquirir la capacidad de combatir una plaga. Así, la ingeniería consiste en procedimientos de finos y elegantes cortes y pegados de fracciones de ADN del microbio, con ADN "foráneo" para que actúen conjuntamente (figura 2, flechas delgadas). En otras palabras, se modifican los datos genéticos de un organismo al incorporar el de otros, y el resultado se conoce como organismo transgénico o recombinante.

Organismos recombinantes

¿Cómo se encuentra al ADN con la "nueva tarea"? Se parte de una comunidad de millones de microbios tomados de algún ambiente; posteriormente se aísla e identifica aquel microorganismo que genera la función deseada. Es algo similar a una tómbola con cientos o miles de números en donde existe alguna probabilidad de que aparezca el que te interesa. Entonces, ¿cómo las herramientas moleculares ayudan a encontrar el ADN de interés?





PIXABAY

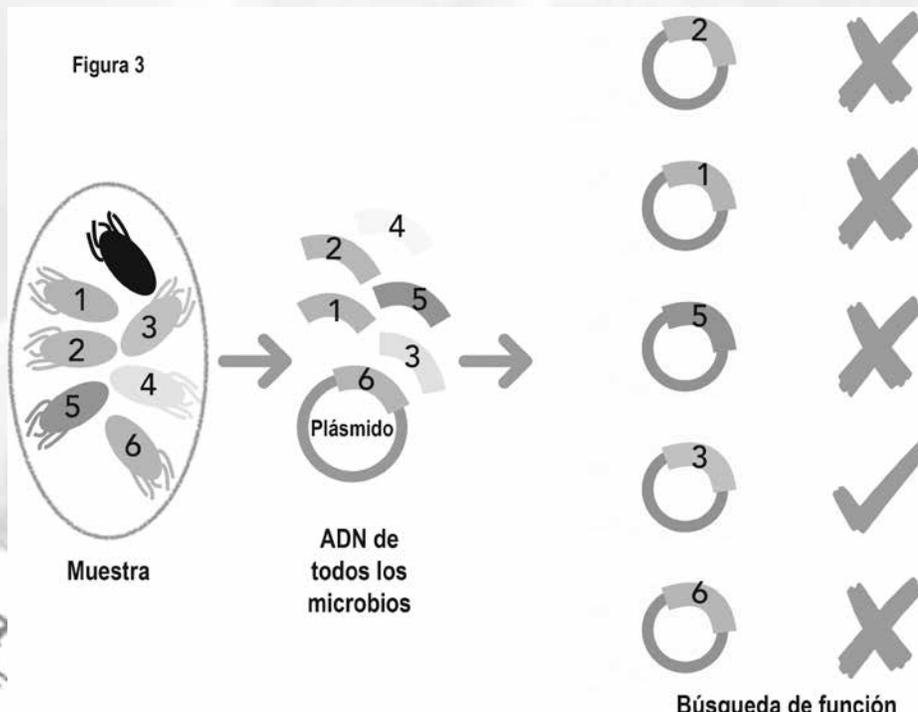
Para responder, nos enfocaremos a una técnica llamada metagenómica. Básicamente se extrae el ADN de todos los microorganismos contenidos en una muestra ambiental (como suelo o agua de mar), y se corta en pequeños pedazos para insertarlos en un plásmido (figura 3). Luego creamos un “caballo de Troya” para introducir el plásmido en una bacteria conocida y crecida en condiciones específicas, y al final sobrevivirá aquella con el ADN que contiene la información deseada. ¡Listo! Te-

nemos nuestro gen de interés, que al usarlo con las herramientas moleculares antes descritas nos permite generar un organismo recombinante.

Esta tecnología es usada para fabricar sustancias derivadas de animales, plantas o seres humanos, producidas por microorganismos. Por ejemplo, durante mucho tiempo, la insulina se extraía del páncreas de cerdo, ya que era la más parecida a la humana, y se inyectaba en las personas diabéticas —en quienes la insulina pro-

ducida por sus células no era suficiente o funcionaba defectuosamente—, causando grandes problemas por reacciones alérgicas. Sin embargo, a inicios de la década de 1980 se consiguió la producción a gran escala de insulina humana mediante el uso de bacterias recombinantes como pequeñas fábricas moleculares, lo cual ha mejorado de forma extraordinaria la calidad de vida de los pacientes.

Con cada conquista científica surgen obstáculos que precisan de nuevas herramientas para superarlos. Por eso las personas dedicadas a la ciencia continúan trabajando en desarrollos que permitan a los microbios producir con eficiencia aquellos compuestos capaces de mejorar nuestra calidad de vida. En este contexto, es importante reconocer que enfrentamos riesgos por el mal uso de las técnicas de modificación genética en humanos y otros organismos, lo cual conlleva problemas éticos y sociales que representan enormes desafíos. Los retos deben ser abordados imperiosamente desde la academia, la sociedad y el Estado, con el fin de garantizar una sana relación entre la ciencia, el bienestar y el progreso. 🌀



María Eugenia Guazzaroni es académica del Departamento de Biología, Facultad de Filosofía, Ciencias y Letras de Ribeirão Preto, Universidad de São Paulo, Brasil (meguazzaroni@fclrp.usp.br). Gerardo Ruiz Amores es investigador del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad de ECOSUR Tapachula (amoresgr@gmail.com).

Los mutantes

en mi mesa



Los seres humanos se han relacionado con "mutantes" a lo largo de la historia. En nuestros alimentos están los casos más documentados; han cambiado tanto a causa de sus mutaciones, que resulta difícil imaginarnos que las mazorcas de maíz hayan sido seleccionadas a partir de una especie de pasto. Desde el teocintle hasta el maíz, desde el lobo hasta el perro, la curiosidad humana ha impulsado vitalmente la domesticación de flora y fauna silvestres.

Domesticación de plantas y animales

Julión Mario Peño-Castro

¿Recuerdas tu comida familiar más reciente? Estoy seguro de que además del encuentro con tus seres queridos, lo que viene a tu memoria son los alimentos que compartieron, con ese toque especial que nos evoca buenos momentos. Probablemente había platillos con pollo, res o cerdo, ensaladas, aguas de fruta, las tortillas que casi nunca faltan en México y tal vez algún otro producto de maíz. Aunque suene extraño, todos esos alimentos provienen de *mutantes*... No me refiero a entes deformes o con poderes especiales a consecuencia de la contaminación o la maldad, sino a organismos que registraron un cambio de información genética respecto a otro preexistente.

Las mutaciones son naturales. Son la esencia misma del cambio de los organismos y el mecanismo preferido durante la evolución para enfrentar los retos que la vida ha encontrado a lo largo de 3 mil mi-

llones de años. ¡No son nuestras enemigas! La selección de mutantes con características deseables es una herramienta de la humanidad para proveerse de recursos biológicos y aumentar su calidad de vida.

Durante los últimos 200 mil años —tiempo que los seres humanos llevamos existiendo en la Tierra— hemos seleccionado fauna y flora silvestre por sus características deseables para el uso en el hogar; de ahí que a este proceso de selección se le llame domesticación.

No solo hemos domesticado seres para su consumo, también para que nos hagan compañía (perros y gatos), para que decorren nuestros hogares (flores), como materiales de construcción (pinos) y vestimenta (algodón), o incluso para usos lúdicos (café).

Si invitáramos a sentarse en nuestra mesa a un ser humano de hace 200 siglos, se sorprendería por la abundancia y variedad de alimentos, y seguramente no podría reconocer la forma de ninguno de

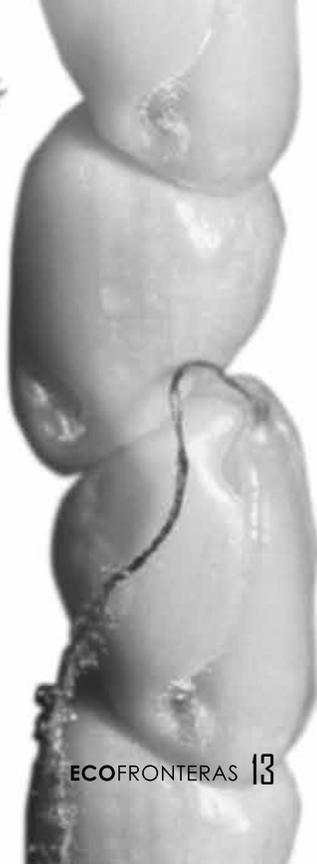
ellos, pues no son producto de la evolución natural sino de la habilidad de cientos de generaciones de agricultores (quienes cultivan plantas, animales u hongos para consumo humano), que han seleccionado a los mejores mutantes para satisfacer distintas e imperantes necesidades.

El gran regalo

Por pruebas genéticas de secuenciación y lectura del ADN, hoy tenemos la certeza cronológica del amanecer del humano moderno en África. De la misma manera, podemos trazar el origen de cada uno de nuestros alimentos. Los mexicanos tenemos una mesa rica que procede de nuestras dos grandes ascendencias, la de los grupos que de África se desviaron a Europa, y la de aquellos que tomaron camino hacia Asia y terminaron su largo andar en América.

Los barcos de Hernán Cortés trajeron plantas domesticadas en China (cítricos, melones, uvas), en Mesopotamia (trigo,

MATT LAVIN, Teocintle





JUAN CARLOS VELASCO

cebollas, aceitunas) y en el Mediterráneo (lechugas, avena, zanahorias). En América se domesticaron plantas que han conquistado los paladares del mundo: chile, maíz, frijol, aguacate, vainilla, cacao, jitomate, fresa, girasol, papa, camote, entre muchas otras. Varias están ligadas directamente a nuestro territorio y no es extraño que la cocina mexicana sea de clase y gusto mundial.

Estos cultivos son nuestro gran regalo. Cada característica que los torna deseables proviene de una o varias mutaciones que han sido cuidadosamente observadas y conservadas por los miembros de civilizaciones cuyo nombre desconocemos y que habitaron decenas de siglos atrás.

Gracias al descubrimiento —hace menos de un siglo— de los mecanismos que utilizan los seres vivos para guardar la información genética en el ADN, podemos trazar en el tiempo cómo es que se logró la domesticación y cómo ha impactado a la biología de nuestras plantas y animales. Probablemente los casos mejor documentados son el del perro y del maíz. Del perro cabe destacar que se domesticó a partir del lobo, tanto en Asia como en Europa de manera independiente, antes que cualquier otro animal o planta.

En cuanto al maíz, después de vastos estudios de sus estructuras genéticas, diversidad y de muestras arqueológicas, se ha llegado al consenso de que se originó en México y existe gracias a la selección artificial humana. Su ancestro es un pasto llamado teocintle (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) que todavía habita en vida libre.¹

Los antiguos agricultores formaron al maíz mediante la selección visual de mutaciones del teocintle, es decir, si llegaban a percibir en la planta algún cambio que facilitara la obtención de alimento, esta nueva característica se conservaría y se intentaría volverla permanente. El estudio del ADN indica que hace 87 siglos, algún recolector que caminaba por la orilla del Río Balsas (hoy Guerrero) observó plantas de teocintle, que a diferencia de la original, conservaban los granos sujetos a la espiga. Esta

¹ Ver "Maíz, nuestra herencia y responsabilidad", en Ecofronteras 46, <https://bit.ly/37psETh>

mutación le permitió al agricultor sembrarla y regresar después para encontrar las semillas sobre la planta, en lugar de hallarlas tiradas en el suelo. ¡Qué modificación tan revolucionaria! Seguramente no dudó en conservar estas semillas ni en compartirlas con sus conocidos.

Hoy en día, sabemos que ese afortunado cambio sucedió gracias a que un gen llamado *shattering* (del inglés, *shatter*, sacudir) sufrió una mutación que le borró 23 mil bases de ADN, convirtiéndolo en un gen disfuncional. Fue un suceso drástico que en la naturaleza hubiera impedido la diseminación de las semillas del teocintle, pero en las manos de un ingenioso ser humano, se convirtió en una transformación tecnológica que le permitió asegurar una fuente estable de semilla.

Veinte siglos después, otros agricultores detectaron una nueva mutación que eliminó la gruesa capa no comestible alrededor de la semilla. Los estudios genéticos indican que esto ocurrió en el gen *teosinte glume architecture* (TGA). A diferencia de la gran alteración de *shattering*, la de TGA es pequeña, solo un aminoácido cambió en la proteína codificada; más que el tamaño, lo importante fue que se incrementó la capacidad de obtener nutrientes con facilidad.

Las modificaciones continuaron y hace 30 siglos, una mutación en el gen *teosinte branched1* disminuyó las ramificaciones y aumentó la productividad de la planta. Otro cambio en el gen *agamous* amplió la



GABRIELA MONTOYA SÁNCHEZ

cantidad de semillas y la longitud de la mazorca. Diez siglos después, la semilla llegó al río Misisipi y ahí se observó la mutación en el gen *sucrose1* que acrecentó la dulzura de los granos tan característica del maíz norteamericano. Con esta acumulación de mutaciones es prácticamente irreconocible la relación del maíz con su ancestro el teocintle, y resultan increíbles las amplias ventajas tecnológicas para su uso.²

La historia de domesticación del trigo y la del arroz son similares. Para el caso de otros cultivos, en especial de plantaciones frutales (mandarinas, uvas) y lúdicas (té, chile, yerba mate), se están comenzando a estudiar los genes que les han dotado de sus cualidades en cuanto a sabor, olor y riqueza química.

La conservación de la diversidad

Seleccionar y mantener como favoritos en el campo a unos cuantos mutantes con características deseables, tiene un costo que era ineludible hasta hace poco: la caída en la diversidad genética de los cultivos. Los estudios paleontológicos genéticos indican que el maíz es una planta menos diversa que el teocintle, es decir, en este último hay más opciones guardadas en su ADN para enfrentar nuevos retos. Al respecto, se tienen registradas múltiples enfermedades y plagas que no presenta el teocintle pero sí el maíz, debido a que la domesticación ha ocasionado que pierda permanentemente su diversidad de genes de resistencia.

Gracias a la biotecnología, el problema se puede resolver mediante los bancos genéticos donde se guardan semillas para su conservación, sin importar su utilidad inmediata en el campo. En México existe el Programa de Recursos Genéticos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) que resguarda 150 mil registros de semillas de maíz y teocintle. Con

estas colecciones públicas, los científicos pueden impulsar cruces entre ambos para recuperar versiones génicas de tolerancia que ha perdido el maíz durante su selección artificial, respecto a enfermedades o estrés (sequías o inundaciones, por ejemplo).

La caja de herramientas del agricultor moderno cuenta con nuevas metodologías para crear y buscar mutantes. Además de la observación y el material genético diverso del que disponían nuestros ancestros, ahora tenemos la secuenciación del ADN (lectura química de la composición del ADN), la mutagénesis (inducción de diversidad genética a través del cambio de la secuencia del ADN), el seguimiento de marcadores moleculares (ubicación física de los genes de interés y su conservación entre individuos), las cruces y retrocruzas (reproducción sexual entre individuos de la misma o diferentes especies), la transformación genética (introducción de material exógeno de la misma o diferentes especies) y recientemente, la edición genética (inducción de mutaciones dirigidas en el ADN).

Los mutantes y la economía

La transformación genética, popularmente conocida como transgénesis, ha alimentado la polémica en la sociedad. Aunque solo es un método más para crear mutaciones, bastante más finas y menos masivas que muchas de las seleccionadas por los primeros agricultores, su comercialización por grandes compañías transnacionales no las coloca en una buena posición. Sus detractores afirman que su libre siembra en México crearía un oligopolio de semillas, y desafortunadamente tienen razón. Esta tecnología dota de características tan útiles a los agricultores modernos (tolerancia a sequía, a herbicidas y a insectos), que en los países donde se diseñó ha sido adoptada rápidamente (como Estados Unidos y Canadá). Dado que México ha llegado tardíamente a ella, es de suponer que la agro-economía sería rápidamente absorbida por dicho oligopolio con consecuencias sociales difíciles de predecir.

Existen otros esquemas de búsqueda de mutantes que no dependen de los avances de empresas extranjeras. Por ejemplo, el CIMMYT, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, así como fundaciones filántropas, han echado a andar el consorcio Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro). Este trabajo permite que la enorme riqueza genética natural resguardada en el CIMMYT se pruebe en donde se siembra maíz nativo, que aunque es de alta diversidad genética, presenta baja productividad, en especial en las zonas del golfo y el sureste. Los mejores mutantes son conservados por las pequeñas compañías con independencia para comercializar la semilla mejorada, no transgénica y de uso tecnológico libre.

La obtención de una gran cantidad de mutantes de maíz, adaptados a los microclimas de México, será uno de los momentos más emocionantes para la agricultura moderna nacional. Las nuevas variedades pueden ser estudiadas por los jóvenes científicos con las herramientas de la secuenciación y ediciones génicas de alta precisión, libres de transgénicos, fuera del halo de la protección intelectual de las compañías internacionales, y en asociación con cooperativas y compañías agrícolas locales.

El gran reto moderno es dejar de observar la diversidad del maíz —y de cualquier otra planta domesticada— como una exposición de museo con la que no se puede interactuar. Es un regalo enviado a través de los milenios para que enfrentemos los desafíos de un ambiente cambiante, ya no por las dinámicas naturales de nuestro planeta, sino por los disturbios autoimpuestos por la humanidad, especialmente el cambio climático global, junto con la necesidad de conservación de agua, bosques y selvas. Y también para que en las mesas nunca falte un festín alrededor del cual reunimos.

Julían Mario Peña-Castro es profesor-investigador del Instituto de Biotecnología de la Universidad del Papaloapan, Laboratorio de Biotecnología Vegetal, campus Tuxtpec, Oaxaca (julianpc@unpa.edu.mx).

² En esta liga se puede consultar un video interesante sobre el maíz y el teocintle, elaborado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): <https://bit.ly/2O4ESc1>



Ya en serio, ¿yo utilizo OGM?

Aunque hay reticencia al hablar de organismos genéticamente modificados, diariamente se aplican en procesos y productos de uso común: pan, lácteos, algodón, cuero, insulina y varios medicamentos. Una de sus aplicaciones importantes es que ayudan a reducir los costos ambientales de ciertos métodos convencionales de producción.

Alimentos de todos los días

Hablar de organismos genéticamente modificados (OGM) genera diversas reacciones en la ciudadanía. Algunas personas los rechazan sin saber que múltiples alimentos y productos del día a día se han procesado con OGM. Quienes asumen que nada tienen que ver con ellos, pueden no estar considerando varias cuestiones de la vida cotidiana. Recuerdo una plática en la que un compañero mostró preocupación por este comentario y expresó preferir la alimentación orgánica (costumbre que no debemos desestimar).

—El queso de la comida de hoy no era orgánico —le respondió alguien con ligera ironía.

—Pero al menos no está ligado a “vacas transgénicas” —agregó el primero para continuar con el sarcasmo.

—La vaca no, ¿pero sabes cómo se cuaja el queso? —y a partir de aquí comencé la reflexión sobre algunas aplicaciones básicas y comunes de los OGM. Por lo anterior, percibimos la necesidad de buscar mayor claridad en los conceptos.

En lo referente al queso industrializado, este se produce con leche cuajada mediante una proteína (enzima) llamada renina, que por lo general se obtiene de la fermentación de organismos genéticamente modificados, como más adelante explicaremos. Existen muchos otros alimentos y bebidas que utilizan OGM en alguna fase de su pro-

ducción, entre ellos cervezas, vinos, yogurt, pan, dulces, cereales y galletas. Y no necesariamente se trata de artículos industrializados, por ejemplo, la mayoría de las panaderías locales si bien utilizan azúcar de caña en la elaboración de su pan, también emplean harina que pasa por procesos enzimáticos para mejorar la manejabilidad de la masa, la textura y el sabor de las piezas.

En el caso de la harina, mencionaremos las amilasas, enzimas que ayudan a trabajar la masa. Para producirlas, por lo general se aprovecha una levadura (*Pichia pastoris*) que ha sido modificada para obtener mayor producción de la enzima. La amilasa surge por fermentación, que básicamente consiste en alimentar un organismo —bac-

terias o levaduras— y propiciar las condiciones adecuadas para su crecimiento.

Al momento de reproducirse, algunos microorganismos requieren vitaminas, minerales y otros compuestos, además de temperaturas especiales de calor o frío que implican grandes costos. Otros no presentan estas necesidades, pero no tienen la capacidad de generar el producto que se desea y es ahí donde interviene la ingeniería genética: se introducen genes para que el organismo que no sintetiza el producto pueda crecer sin que se le agreguen vitaminas y sin temperaturas especiales, lo cual reduce de manera considerable los costos. Cabe aclarar que ingerir harina u otros alimentos tratados con enzimas no significa que estemos consumiendo OGM, ya que la harina no entra en contacto directo con él.

Insulina, el mejor ejemplo

La insulina es uno de los casos más conocidos de fermentación con OGM. Esta hormona se encarga de regular la cantidad de glucosa de la sangre y se utiliza en el tratamiento de diabetes. Según cifras de la Organización Mundial de la Salud, de cada once personas, una tiene algún tipo de diabetes, y de acuerdo a los datos del INEGI, es la segunda causa de mortalidad en México. Hasta hace algunos años la insulina se extraía del páncreas de cerdos o de vacas, aunque no tenía la misma actividad que la insulina humana e incluso causaba reacciones adversas en algunos pacientes.



ARCHIVO ECOSUR

Actualmente esta se produce por medio de la fermentación, mediante bacterias que han sido modificadas para este fin.

Enzimas, fermentación y aplicaciones

Podríamos pensar que si solo consumimos alimentos orgánicos y no ingerimos fármacos —analgésicos o antibióticos, los cuales se producen principalmente por fermentación—, quizá estemos libres de OGM. Sin embargo, hay una infinidad de artículos que requieren enzimas producidas por estos organismos: artículos de piel (para ablandar el material); detergentes (para degradar grasas, carbohidratos y proteínas de las manchas); telas como el algodón o la lana (para suavizarlas y para tinción y destinción); industria de la pulpa y el papel (para blanquear la materia prima sin usar el dañino y contaminante ácido sulfúrico).

En el sector energético también se usan enzimas obtenidas mediante la fermentación de OGM: las lipasas, que ayudan a transformar aceite para producir biodiesel sin aplicación de calor ni compuestos tóxicos, en contraposición con el método tradicional que integra alcohol e hidróxido de sodio o ácido sulfúrico, junto con temperaturas altas que exigen un gran gasto energético.

Podemos observar que sin los organismos genéticamente modificados, el costo de muchos de los productos que utilizamos sería considerablemente más alto para nosotros y para el ambiente, pues se contaminaría mucho más si se produjeran mediante métodos convencionales.

David Herrera López (dherrera@ecosur.mx) y Griselda Karina Guillén Navarro (kguillen@ecosur.mx) son técnico académico e investigadora del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad en ECOSUR Tapachula.

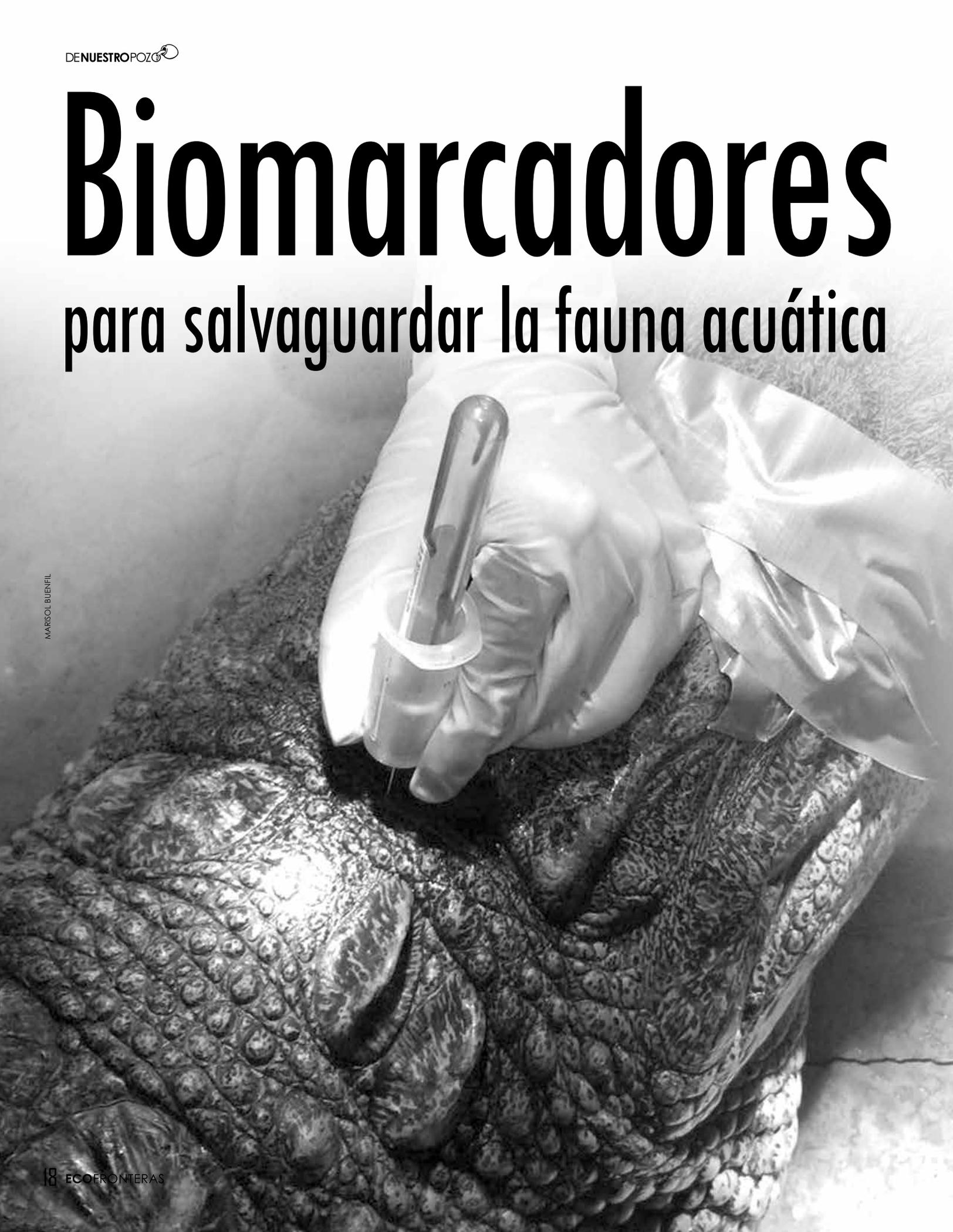
Diferencias entre OGM y transgénico y sus fuentes

Fuente	Organismos genéticamente modificados	Organismos transgénicos
Natural	Tienen alguna alteración por un factor externo natural que cambia su material genético. La radiación solar, los cambios de temperatura, las infecciones o la falta de alimento pueden modificar el ADN en organismos y alterar sus funciones. Gran parte de la diversidad biológica fue posiblemente generada por factores externos que provocaron cambios en el genoma en los organismos originales.	Reciben material genético de otra especie. Muchas bacterias pueden tomar material genético del medio, proveniente de otras especies, y esto les ayuda a adaptarse mejor a su ecosistema.
Ingeniería genética	Poseen una combinación nueva de material genético, obtenido mediante la aplicación de ingeniería genética. Se han modificado algunas bacterias para producir enzimas mediante reacomodo de su material genético.	Se les introduce material de otra especie mediante técnicas de ingeniería genética. Un ejemplo son las bacterias que producen insulina humana.

Biomarcadores

para salvaguardar la fauna acuática

MARISOL BUENFIL



Diariamente utilizamos cremas, detergentes y muchos productos más, y aunque lo hacemos por protección, higiene y otras razones, los desechos de nuestro consumo llegan a los cuerpos de agua y son un gran peligro para los ecosistemas. En ese desastre hay oportunidad de detectar tempranamente los indicadores de contaminación en organismos —cocodrilos, medusas y tortugas marinas, como ejemplo— y buscar soluciones.

Invisibles amenazas tóxicas

Teresa Álvarez Legorreta

Es común que experimentemos algún sentimiento perturbador cuando en los medios de comunicación o redes sociales circulan imágenes de focas y aves acuáticas cubiertas de petróleo a causa de derrames en plataformas marinas o por accidentes de algún buque-tanque cerca de las costas. Sucede lo mismo con las noticias sobre desbordamientos de lagunas con desechos mineros y la consecuente contaminación de ríos enteros con metales pesados.

Estos eventos pueden ser tan impresionantes, que llegamos a pensar que son la principal fuente de afectación para los organismos marinos o dulceacuícolas. Aunque son situaciones bastante graves, el verdadero desastre proviene de contaminantes que no se ven a simple vista y los generamos en nuestras actividades cotidianas al usar gasolina, insecticidas, artículos de limpieza (detergentes, desinfectantes y otros) y de cuidado personal (perfumes, cremas o bloqueadores solares), además de una gran diversidad de medicamentos que eliminamos de nuestro cuerpo en la orina. Todas las aguas residuales, con y sin tratamiento, son descargadas en los cuerpos de agua; entonces, aunque los desechos vayan a dar a plantas de tratamiento, hay impactos negativos, pues sus procesos están diseñados para erradicar materia suspendida, materia orgánica, microorganismos patógenos y nutrientes, pero no las sustancias químicas antes mencionadas.

Cuando los contaminantes llegan al agua, entran en contacto con peces, tortugas, cocodrilos, algas, pastos marinos y otros organismos. Sus concentraciones son tan bajas que no podemos medirlos fácilmente ni con sofisticados equipos científicos; aun así causan efectos tóxicos en

todos los seres vivos, incluidos los humanos, ya que generan cambios en estructuras tan pequeñas como las células, así como en la actividad de proteínas y de enzimas, gracias a las cuales los individuos se reproducen, crecen, se alimentan y respiran, entre otras funciones vitales. Un caso ilustrativo es que cuando una persona consume peces contaminados con mercurio, este metal puede atravesar la pared de las células del sistema nervioso y dañar la actividad enzimática; exposiciones elevadas llegan a causar ceguera, parálisis o incluso la muerte.

Indicadores de contaminación

Algunos daños derivados de los contaminantes pueden revertirse si se elimina la fuente. Por esta razón, la biotecnología desempeña un papel importante, pues gracias a ella se han desarrollado metodologías y equipos para la detección y medición de "indicadores de alerta temprana o biomarcadores" de contaminantes en los seres vivos.

Los biomarcadores son variaciones bioquímicas, celulares, fisiológicas o conductuales, que se miden en tejidos, fluidos o en organismos completos, y proporcionan evidencia de las afectaciones o modificaciones fisiológicas asociadas con la exposición a uno o más contaminantes químicos. Podemos apreciar estas afectaciones con algunos plaguicidas que alteran funciones en las hormonas y provocan infertilidad o cambio de sexo en peces y moluscos.

En el uso de tan valiosa herramienta no es necesario sacrificar a la fauna para medir los contaminantes y los biomarcadores que hay en su organismo. Se utilizan muestras de sangre, uñas, escamas o grasa subcutánea, y en ocasiones especiales se tiene acceso a órganos internos, como

hígado, riñones y otros tejidos. Antes se sacrificaban animales o se usaban los ya muertos para averiguar cómo los contaminantes entraban y se transportaban en los organismos y con qué impactos, o bien, se medían en componentes ambientales, como agua y sedimentos.

Con el avance de la ciencia, se observó que en individuos expuestos a bajas concentraciones de contaminantes, se estimula la actividad de genes, enzimas, proteínas y otras partículas, para evitar el efecto tóxico. Por eso a los biomarcadores también se les denomina *indicadores de aviso temprano*, ya que si los medimos en tejidos como sangre, piel y orina, podemos determinar si hay exposición y entonces realizar acciones para eliminar las fuentes de contaminación, antes de que causen daños irreversibles.

Los cocodrilos del Río Hondo

En el Laboratorio de Contaminación Acuática del grupo de Biotecnología Ambiental de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal, hemos realizado diversas investigaciones para entender los mecanismos que utilizan los organismos acuáticos para defenderse de la exposición a los contaminantes generados por las actividades humanas.

En Quintana Roo, la caña de azúcar es uno de los principales productos agrícolas, con una superficie cultivada de cerca de 35 mil hectáreas. Para mantener tan importante producción, se requiere el uso de grandes cantidades de agroquímicos, lo cual constituye una fuente potencial de contaminación para los suelos, las aguas superficiales y el manto freático de la cuenca, debido a su transporte a través de canales agrícolas secundarios.

Sabemos que los cocodrilos del Río Hondo están expuestos a mercurio y cad-



mio, metales tóxicos contenidos en varios agroquímicos que penetran en los reptiles principalmente al ingerir presas contaminadas, animales que a su vez los habían bioacumulado en sus tejidos al tomarlos del agua y sedimentos (los asimilan y no los expulsan en sus procesos metabólicos). Para evitar el efecto negativo de las sustancias tóxicas, el cuerpo de los cocodrilos reacciona depositándolas en sus escamas y uñas, o bien, su hígado produce una proteína llamada metalotioneína, que enlaza al metal y lo transporta por el torrente sanguíneo hacia los riñones para ser eliminado en la orina. La metalotioneína funciona como biomarcador para saber si el cocodrilo tiene acceso a metales capaces de ocasionarle daños tan severos que podrían provocar su muerte.

Las colectas de muestras no resultan fáciles, pero son necesarias para impulsar acciones en beneficio de los ecosistemas con todos sus habitantes. Con los cocodrilos, nos trasladamos al Río Hondo en una lancha pantanera durante la noche, apoyados con lámparas, y los capturamos por el cuello, utilizando una pértiga con un lazo en el extremo. Inmovilizamos al espécimen sobre la lancha para obtener una muestra de sangre y una cresta de la cola, ade-

más de tomar medidas de longitud, peso y sexo; después lo regresamos al río.

Las medusas del Caribe

La belleza del mar Caribe ha estimulado grandes desarrollos urbanos y una intensa actividad turística, lo que ha ocasionado la descarga de diversos contaminantes al ambiente acuático, como los hidrocarburos del petróleo. Los animales los bioacumulan en sus tejidos y se provocan cambios a nivel celular, mismos que pueden llegar a ser carcinogénicos y mutagénicos.

Las medusas son un importante grupo de organismos marinos integrantes de las cadenas tróficas que mantienen la gran biodiversidad del Caribe. En nuestros estudios hemos encontrado que dichos animales se encuentran cerca de las costas y pueden acumular los hidrocarburos en los tentáculos o brazos por donde se alimentan, así como en el tejido que funciona como estómago; ahí utilizan diversas enzimas para degradar los contaminantes y desecharlos, evitando sus efectos tóxicos. Entonces, las enzimas funcionan como biomarcadores de exposición a hidrocarburos.

Tortugas marinas

Las tortugas marinas de Quintana Roo se encuentran clasificadas como especies amenazadas o en peligro de extinción, según la Convención para el Comercio Internacional de Especies de Fauna y Flora Silvestre. Se considera que la contaminación es una de las causas del declive de sus poblaciones, debido a que su longevidad puede favorecer la acumulación de contaminantes persistentes, como los plaguicidas. En Cozumel están expuestas a los productos que se utilizan en campos de golf y para control de plagas en casas y áreas de recreo; circulan por su sangre hacia los diferentes órganos y dañan las membranas celulares. Para evaluar los efectos negativos, en la sangre y piel de sus aletas medimos el malondialdehído, un compuesto químico que se produce durante la degradación de los lípidos de las membranas celulares, por lo que se utiliza como un biomarcador de daño.

Con estos ejemplos podemos comprender el valor de la biotecnología ambiental para hacer visibles los efectos invisibles de la contaminación y en consecuencia, proponer acciones para la protección de los seres vivos.¹ El potencial en áreas naturales protegidas es enorme, y como muestra tenemos un buen caso en el Sistema Arrecifal Mesoamericano, en donde se utilizó un pez de arrecife como bioindicador de exposición a hidrocarburos y plaguicidas, a partir de la evaluación de algunos biomarcadores en músculo y bilis.

La protección puede incluir a la especie humana, ya que también nosotros usamos metalotioneínas y enzimas para evitar el efecto tóxico de los contaminantes a los que nos encontramos expuestos por los alimentos que consumimos o el aire que respiramos. ☺

¹ La biotecnología se refiere al conjunto de técnicas que involucran la manipulación de organismos vivos o sus componentes celulares, para producir sustancias, desarrollar procesos o proporcionar servicios.

Teresa Álvarez Legorreta es investigadora del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad en ECOSUR Chetumal (teral@ecosur.mx).



MIRANDO AL SUR



• El concepto de biotecnología se usó por primera vez hace casi 100 años. Karl Ereky, ingeniero agrícola húngaro, lo acuñó en 1919 para referirse a la fusión entre biología y tecnología. Esta ciencia describe la utilización de organismos vivos o sus derivados para crear o modificar productos o procesos.

• El cultivo de microalgas a partir de aguas residuales es uno de los desarrollos con los que la biotecnología puede producir biocombustibles sin competir con cultivos del mercado alimentario, como ocurrió con los precios del maíz que se dispararon en México por su uso en el bioetanol.

• Para afrontar el dengue, chikungunya y zika, en Chiapas y Guatemala se está desarrollando un proyecto ligado a la técnica del insecto estéril: se producen y liberan mosquitos machos estériles a gran escala de la especie transmisora (mediante radiación gama); como no tienen descendencia, se reduce la natalidad del insecto. En otras partes del mundo se están probando mosquitos resistentes al dengue o inoculados con bacterias que evitan su susceptibilidad al virus.

• Las plantas de tratamiento de aguas residuales requieren procesos biotecnológicos para producir agua de reúso en actividades agrícolas, industriales y servicios municipales, entre otras. La planta Tuxtla, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, puede procesar 320 litros de aguas residuales por segundo.

Fuentes: <https://www.amgen.es/nuestra-ciencia/biotecnologia/>, <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num8/art63/#>, <http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/1828>
<https://www.sciencemag.org/news/2018/08/scientist-convinced-australian-city-become-haven-mosquitoes>, <http://smapa.gob.mx/SaneamientoIntegral/tuxtlan.html>

Ética

en la actividad científica

El ámbito científico parece rígido y controlado, pero quienes lo conforman son humanos iguales a los de cualquier otro contexto: se equivocan y llegan a tener conductas antiéticas. La simulación, el plagio, la manipulación de datos y las conductas impropias se pueden expresar tanto en el desarrollo de la investigación como en la comunicación de los resultados, y a veces son muy dañinas.

¿Correcto o incorrecto para quién?

Desde la infancia adquirimos, en buena parte por mediación de los adultos, conocimientos y creencias que nos ayudan a delimitar aquello que es adecuado o conveniente y lo que es perjudicial para nosotros y para los demás. Sin embargo, el asunto de la bondad y la maldad en relación con nuestro propio "estar en el mundo" no es sencillo. El filósofo español Fernando Savater afirma que en el terreno de las relaciones humanas, estas ambigüedades son más una regla que su excepción, que cada quien decide su modo de vida y que la manera correcta de vivir es diferente

para cada persona; algunas lo harán desde la emoción por obtener fortuna o fama y otras en la búsqueda de una existencia apacible y alejada de todo conflicto. La libertad de decidir nuestros actos es primordial, así como asumir las consecuencias.

El cómo acertar en aquello que nos conviene es uno de los planteamientos de la ética, y esto puede expresarse de diferente manera dependiendo de lo que sea correcto, importante y valioso para cada individuo, para el grupo y para la cultura a la que se pertenece. Desde luego, la ética también está presente en el campo de la actividad científica, que es el conjunto

de criterios aplicados para identificar en la realidad el objeto teórico de conocimiento —con referentes o indicadores empíricos, es decir, hechos y datos—; abarca la comunicación y divulgación de las actividades realizadas y los resultados obtenidos, de acuerdo al psicólogo Emilio Ribes Iñesta y otros académicos.

Si preguntamos a la comunidad científica qué significa ser un investigador o investigadora con ética, podríamos concluir que se trata de ser consciente de las regulaciones explícitas e implícitas en el grupo de trabajo inmediato, así como reflexionar críticamente el impacto que tendrá el propio comportamiento en los demás: participantes de un estudio —personas, colectivos

e incluso otros seres vivos—, compañeros, colaboradores, equipo académico, superiores, institución y la ciudadanía en general. A continuación mostramos un ejemplo que resulta ilustrativo.

En 1995 se publicó un artículo que empezó a considerarse clave por la comunidad científica para el tratamiento del cáncer de mama metastásico. En él se afirmaba que las mujeres con cáncer que recibieron altas dosis de quimioterapia, seguida de un trasplante de médula ósea, tuvieron una tasa de recuperación del 95% contra el 53% que seguían un tratamiento convencional. Este hallazgo justificó el enorme apoyo económico que recibió aquel procedimiento novedoso. Por lo menos 30 mil mujeres

en Estados Unidos se sometieron a la intervención con un gasto promedio de 100 mil dólares, a pesar de que estudios iniciales señalaron que entre 10 y 20% de las pacientes moría como resultado directo del tratamiento.

Tiempo después, se leían los siguientes titulares en los periódicos *The Wall Street Journal* (en el año 2000) y *Los Angeles Times* (2001): “Un médico sudafricano admite falsificar datos sobre el tratamiento del cáncer” y “El estudio clave del cáncer de mama fue un fraude”. El principal autor del engaño fue Werner Bezwoda, presidente del Departamento de Oncología y Hematología de la Escuela de Medicina de la Universidad Witwatersrand de Johannesburgo,



Sudáfrica, quien aceptó haber falsificado algunos aspectos del estudio, impulsado por “un tonto deseo” de hacer su investigación más aceptable ante la Sociedad Americana de Oncología Clínica. Fue despedido y se retiraron los artículos fraudulentos.

Este caso pareciera ser un evento aislado, pero es más común de lo que suponemos. Sin ir más lejos, podemos mencionar el plagio demostrado en la tesis de grado del expresidente de México, Enrique Peña Nieto, o la controversia suscitada por el supuesto fraude de dos investigadores del Instituto de Biotecnología de la Universidad Autónoma de México, en 2012, quienes manipularon figuras en varios artículos. Este último caso concluyó con un acuerdo conciliatorio encabezado por una comisión interna, y se restituyeron los derechos a la parte acusada al considerarse que su falta no afectó los resultados reportados.

El fraude en cifras

En Estados Unidos existe una instancia llamada *Office of Research Integrity* (Oficina de Integridad en Investigación), según la cual, la conducta deshonesta en la investigación científica tiene que ver con la fabricación, falsificación o plagio al momento de proponer, realizar o revisar un estudio, o en el reporte de los resultados, sin importar si fueron presentados de manera oral, digital o impresa, mediante productos en cual-

quier formato: conferencia, cartel, artículo, capítulo, libro u otros posibles.

La conducta impropia se define como aquella que se desvía de los cánones aceptados en la práctica científica, tanto en el desarrollo de la investigación como en la comunicación de sus resultados; de acuerdo al doctor Jorge Bacallao y sus colaboradores de la Universidad de Ciencias Médicas de la Habana, Cuba. Otro aspecto importante es el comportamiento que las personas dedicadas a la investigación muestran ante los participantes, sean objeto de estudio o compañeros de trabajo, en cuanto a expresar respeto, honestidad e integridad. Resulta difícil medir la conducta antiética porque se realiza en las sombras, intenta no dejar huellas y es muy raro que las personas admitan haberla cometido. Algunos estudiosos se han acercado al problema para conocerlo, y aunque hay hallazgos, aún falta mucho por descubrir.

El Gobierno de Estados Unidos ha tratado de calcular la tasa de fraude científico, para lo cual registra el número de casos confirmados y estima su prevalencia por cada 100 mil investigadores; también hay seguimiento del número de retractaciones en la base de datos PubMed —comprende más de 26 millones de citas de literatura biomédica de Medline, revistas de ciencias de la vida y libros en línea—, el número detectado de imágenes manipuladas, par-

ticularmente en la revista *Biología Celular*, o las auditorías que realizan entidades gubernamentales, como la Agencia de Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés), además de preguntas directas a los científicos sobre si han cometido actos deshonestos. Con estas metodologías se ha estimado que entre el 0.02% y el 2% de los investigadores estadounidenses realizan actos de fraude científico.

Como comentábamos antes, es muy probable que tales mediciones subestimen la frecuencia de las mentiras en los científicos. Una forma de superar tales limitaciones es realizando un metaanálisis. En 2009 Daniele Fanelli, de la Universidad de Edimburgo, realizó este tipo de estudio y encontró que al cuestionar directamente a los investigadores si han realizado actos graves de fraude, como fabricación, falsificación o modificación de datos, 2% admite que sí; lo cual concuerda con los estudios antes expuestos. Al preguntarles si han sido testigos de que otros hayan cometido esos actos, entonces el número asciende al 14%. Los datos no se quedan ahí; si ampliamos la definición de fraude e incluimos faltas en el proceso de la investigación, como el cambio de aspectos en la metodología, diseño experimental y resultados por presión de las fuentes de financiamiento, o bien, no incluir datos de otras investigaciones relacionadas, los números aumentan a un tercio o a un 72% con la pregunta de si han sido testigos de que un compañero lo ha hecho.

De acuerdo a Neil S. Wenger y su equipo de colaboradores de la Universidad de California en los Ángeles en 1999, cuando se indagaba con los investigadores qué harían si atrapaban *in fraganti* a un colega, la mayoría (94%) aseguró que lo reportaría a los mismos colaboradores de investigación, pero no ante autoridades externas. Para indagar cómo los científicos actúan en la realidad, Gerald Koochery y Patricia Keith-Spiegel publicaron en 2010, en la prestigiosa revista *Nature*, los resultados de una encuesta don-



ARCHIVO ECOSUR



de se les preguntó qué habían hecho en el pasado al respecto; casi dos tercios reportaron haber sido testigos de alguna conducta inapropiada de un compañero.

Las conductas impropias

La conducta impropia más observada es el plagio, así lo publicaron Vanja Pupovac y Danielle Fanelli en 2014. Es una práctica con varias acepciones, como copiar literalmente un texto o apropiarse de la idea y algunas palabras del documento original sin dar crédito; también puede ser que el investigador mande un trabajo suyo a una revista cuando ya se publicó en otra (autoplagio) o que envíe a diferentes revistas los mismos datos e ideas (multiplicación).

Se dice que si hay una similitud mayor al 20% entre dos textos, puede sospecharse de plagio. Pero más importante que el porcentaje es la sección que ha sido plagiada: en la introducción o en los antecedentes podría tratarse de un descuido del autor al no citar de manera adecuada; en cambio, es muy grave que se copien partes sustantivas que aportan al conocimiento y que deben ser relevantes por su originalidad, o en el análisis e interpretación de datos y en la discusión de resultados, cuando el plagio se utiliza para confirmar hipótesis *ad hoc*.

Otra conducta fraudulenta que no queremos dejar de lado es el "efecto del toro blanco". Se considera que el primer autor de un texto colectivo es quien aportó elementos clave en la planeación, recopilación

de datos y redacción del texto; respecto a las siguientes posiciones no hay consenso, aunque se estima que al final aparezca el jefe de laboratorio o del grupo de investigación. Suele suceder que un investigador veterano abuse de uno novato y se ponga en primer lugar al publicar un trabajo, o bien, que agregue "colaboradores" e incluso omita a personas que participaron en el proyecto; así lo considera Lance Stephen Kwok. Este autor señala que las instituciones deberían adoptar y seguir rigurosamente una guía para proteger a todos los colaboradores, sin importar su nivel.

A quienes son sorprendidos realizando acciones incorrectas, se les suele excluir de los servicios públicos de salud, se les quitan contratos, becas, y se les pide que publiquen cartas de disculpa. Todo eso puede considerarse como el fin de una carrera, pero no siempre es así: 43% siguieron trabajando en la academia y la investigación, incluso algunos continuaron publicando artículos.

A modo de conclusión

Como profesores-investigadores trabajamos en instituciones con códigos que norman nuestro comportamiento, explícita o implícitamente; de igual forma se regula nuestra producción y en ocasiones se nos alienta o se nos coacciona para que esto ocurra, a veces se nos obstruye o se nos brindan facilidades para cumplir con los resultados "mínimos", porque nosotros y nuestro centro somos evaluados de modo regular. ¿Hasta dónde se tiene la libertad

para decidir a partir de lo establecido institucionalmente? Como ejemplo, ¿qué se debe atender con prioridad, la eficiencia terminal o la calidad de la tesis de grado?

Si nos preguntamos por qué se cometen actos antiéticos en la práctica científica, la respuesta no es fácil; pero el dinero es siempre un factor: acceso a fondos de investigación, becas y demás, aunque esto no necesariamente explica todo. Pueden influir errores de pensamiento, capacidad disminuida para enfrentar la presión asociada a la investigación, junto con la inadecuada vigilancia de la actividad, conclusiones a las que llegó un estudio publicado por James M. DuBois y sus colaboradores en 2013. No hay duda de que puede formularse y transmitirse un Código de Conducta Científica Responsable y Comprometida, pero la ética no se reduce a un conjunto de reglas, del mismo modo que la propia ciencia no se limita a unos cuantos procedimientos canónicos.

En cualquier actividad científica emergerán siempre incontables situaciones no previstas en un cuerpo legal, de modo que el investigador debe aplicar su criterio y honestidad. No se trata de buscar recetas concretas o respuestas inequívocas, sino de mantener los códigos éticos como material de reflexión y debate. Si las personas dedicadas a la academia no tomamos el control y vigilancia de nuestra actividad científica y de la de otros colegas, sobre todo estudiantes y becarios, habrá agentes externos que lo hagan. Instituciones públicas y privadas pedirán cuentas respecto al dinero invertido en investigaciones empíricas y culturales, exigiendo resultados originales, trascendentes y de aplicación social; al mismo tiempo lanzarán cuestionamientos cuando el fraude, la simulación, el plagio y otras conductas impropias sean más que evidentes y no se adopten medidas para enfrentarlas. ✍

Luis Alfredo Mayoral Gutiérrez es investigador del Departamento de Estudios en Educación (amayoral@academicos.udg.mx) y Juan Gerardo Martínez Borrayo es investigador del Departamento de Neurociencias (juan.gerardo.martinez.borrayo@gmail.com), ambos de la Universidad de Guadalajara.

¿Conviene dragar los cuerpos de

aguada

en las áreas protegidas?



La deforestación no es solo la ausencia de árboles en un lugar determinado, también se traduce en azolvamiento, es decir, obstrucción de cauces, como ocurre en La Encrucijada, reserva de la biósfera de gran importancia ambiental y reconocimiento internacional. Esta área natural protegida enfrenta la degradación de sus recursos por varias razones, una de las cuales, paradójicamente, debería ser una solución: las obras de dragado.

Área protegida de importancia internacional

Carolina Velázquez Pérez

La Reserva de la Biósfera La Encrucijada¹ (REBIEN) es una de las regiones de humedales más ricas, diversas y productivas de México. Alberga mangles de hasta 35 metros de altura, considerados los más altos de Norteamérica, y se caracteriza por contener una selva baja inundable de zapotonales, los cuales se ubican al límite de los ecosistemas de manglar. Además, es la única zona donde se protege la mayor cantidad de especies de flora y fauna de los humedales de la costa de Chiapas.

¹Los decretos en torno a reservas de la biósfera incluyen esta palabra sin tilde (biosfera); no obstante, dado que en Ecofronteras la acentuamos normalmente por convenir en términos de divulgación, también lo hacemos en el nombre oficial para unificar el término.

Debido a su posición geográfica forma parte del Corredor Biológico Mesoamericano, el cual conecta los ecosistemas de Norteamérica y Sudamérica a través de diversos sitios naturales en el Istmo Centroamericano. Se distingue por su diversidad de ambientes y su riqueza faunística, con especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo: halcón peregrino, loro cabeza amarilla, pelícano pardo, gavilán cabeza gris, garzas tigre y rojiza, cotorra cabazona, cucha, iguana verde, caimán, cocodrilo de pantano, tortugas laúd y golfina, jaguar, mono araña y ocelote. También alberga animales y plantas de importancia ecológica, ya sea por ser especies endémicas, raras, en peligro de extinción o amenazadas, como la maraca chupahuevo, el cigüeñón, la espátula

rosada y el pato pijiji, o en el caso de la flora, los mangles rojo, negro, blanco y mangle botoncillo.²

La reserva se asocia a diversos humedales que proporcionan beneficios ambientales y económicos a las poblaciones humanas cercanas. Hablamos de lagunas costeras, sistemas estuarinos, tulares, popales, pantanos, selvas bajas inundables, potreros inundables y manglares, ecosistemas relevantes porque protegen las costas contra torme-

²Ver "Manglares, entre el mar y la tierra prometida" en Ecofronteras 63, <https://bit.ly/2Ou8oHs>

CRISTIAN TOMILLA



tas y huracanes, reducen la contaminación de los cuerpos de agua y proporcionan hábitat para organismos marinos y terrestres. Por otra parte, son la fuente principal para la pesca y el ecoturismo, actividades que representan la base de la economía de la zona.

Cabe destacar que esta área natural protegida recibe una gran diversidad de aves migratorias cada año, por lo que es considerada, desde hace algunas décadas, sitio RAMSAR, es decir, se ubica entre los sitios de humedales de importancia internacional.

Deforestación, huracanes y desbordamientos

La Encrucijada actualmente enfrenta una serie de problemáticas que provocan la degradación de sus recursos. Una de ellas es el azolvamiento de las lagunas y estuarios, que está reduciendo cada vez más el hábitat de peces, crustáceos y moluscos, y por lo tanto afecta la actividad pesquera. ¿A qué nos referimos con esto?

El azolvamiento, es decir, la obstrucción de los sistemas lagunares, ha sido causado principalmente por la deforestación en la cuenca alta y media. Una cuenca es una zona donde se colecta el agua de lluvia de las montañas y se transporta hacia los la-

gos, lagunas y hacia el mar a través de los ríos. En la REBIEN este proceso lo realizan 17 ríos de la región hidrológica Costa de Chiapas, los cuales arrastran grandes volúmenes de sedimentos que sobrepasan la carga normal de las corrientes. Al remover demasiados árboles, el suelo queda desprotegido contra las lluvias y es acarreado con mayor facilidad hacia los ríos, estuarios y lagunas en la planicie costera (erosión hídrica).

Los huracanes Mitch y Stan, en 1998 y 2005, intensificaron el transporte de sedimentos. Después del primero de estos fenómenos meteorológicos, la Comisión Nacional del Agua y el Gobierno del Estado de Chiapas realizaron obras de canalización de ríos y dragados en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, conformado por cinco lagunas. En otras palabras, se trabajó en la rectificación de los cauces y el revestimiento de piedras al margen de los afluentes para evitar que se desbordaran en los años siguientes; también se extrajo sedimento en las lagunas.

En gran parte, la erosión hídrica se deriva de las actividades agrícolas en la cuenca alta y media, y entonces se afecta el flujo de los ríos en la cuenca baja. Otro problema proviene de cultivos introducidos, como

la palma africana, que ha proliferado por su uso en la industria alimentaria, cosmética y como biocombustible, pero desencadena situaciones indeseadas: deteriora los suelos, compite por espacio con las especies nativas, necesita grandes cantidades de agua y se le siembra cada vez en mayores extensiones de terreno.

Solución con impactos negativos

En condiciones tan complejas, el dragado pareciera ser una solución adecuada, pues sacar de las lagunas toda la tierra y elementos que las van tapando ayuda a recuperar su profundidad y a que la vida ahí vuelva a la normalidad. En la REBIEN es una actividad que no se ha detenido y el gobierno estatal la promueve para reactivar la pesca. Sin embargo, al realizar estas obras, el sedimento extraído se deposita sobre los pantanos de agua dulce y sobre las áreas de mangle aledañas, lo que ha originado la pérdida de más de 50 hectáreas de manglar alrededor de cada laguna y la muerte de numerosos animales.

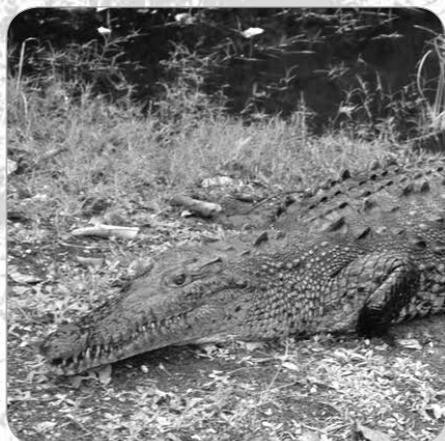
Otro efecto negativo ha sido la modificación de la *textura* del sedimento. La hidrobióloga Georgina Calva encontró que la tormenta tropical "Javier", ocurrida en septiembre de 1998, generó un incremento en la proporción de arenas y la disminución del carbono orgánico en casi todo el sistema lagunar; esta modificación continúa, sobre todo en las áreas donde se han realizado dragados desde 2001.

Resulta preocupante que la zona núcleo de la reserva se siga afectando. Las obras desarrolladas en 2006 en las lagunas Panzacola, Cerritos, Teculapa y Chantuto, causaron la pérdida de importantes áreas de manglar y con ello la reducción del hábitat de diversos peces, crustáceos, moluscos y aves. Además, al deforestar los manglares aumenta la vulnerabilidad a incendios, ya que al dejar desnuda una porción del bosque y con las altas temperaturas de la zona costera, el material vegetal muerto acumulado puede arder con facilidad.



Rectificación de ríos en la Encrucijada.

XIMENA MENDOZA



CRISTIAN TOVILLA

Actores sociales

Ante este panorama, es urgente buscar otras zonas estratégicas para depositar el sedimento. Una opción podría ser el mar; el impacto sería menor por su enorme extensión. Es cierto que acciones semejantes incrementan los costos de los dragados, pero son necesarias si queremos reducir el daño de los recursos naturales. Las instituciones que financian las obras no lo comprenden así, por lo que es necesario trabajar mucho en ello.

Desde luego, conviene cuestionarnos si tales labores son indispensables, qué tanto afectan al ecosistema y si son las soluciones más viables. En la percepción de la comunidad de pescadores sí convienen, idea apoyada —o introducida— por instancias gubernamentales. Durante una práctica de campo platiqué con Antonio, uno de los pescadores de la localidad La Palma, del municipio de Acapetahua; en uno de los traslados de su casa a las tarquinas

—lugar de depositación de sedimentos— me comentó: “Ya no hay pescado porque la laguna está sedimentada, necesitan hacer otro dragado para que vuelva a ser profunda y que haya más peces”.

Así como él, muchos otros consideran que desazolvar la laguna mediante dragados es la mejor opción para recobrar la población de organismos acuáticos y aumentar la actividad pesquera. Quizá no perciben los efectos negativos en el ecosistema, tanto en la laguna como en el man-



CRISTIAN TOVILLA

glar. Hace falta información respecto a que los dragados son soluciones a corto plazo, y cuando se realizan de manera inadecuada empeoran la situación. Aunque se logra desazolvar la laguna en un breve periodo, esto no dura mucho y el sedimento vuelve.

¿Hay alternativas?

El problema debe atenderse de raíz mediante el manejo integral de la cuenca, es decir,

reforestar la parte alta y media de la misma, reforzar los cultivos anuales con otros de especies leñosas, evitar la rectificación de los ríos, seleccionar áreas estratégicas para el establecimiento de cultivos de riego, evitar la extensión de palma africana en las áreas cercanas a los humedales costeros o si es posible, cambiar a cultivos tradicionales, como mango, chicozapote, caña de azúcar, sandía, y en las áreas inundables se podría plantar zapotón, anona de corcho y palma real.

Es indispensable la participación y el compromiso de varios actores: comunidades de toda la cuenca, autoridades municipales y estatales, instituciones públicas ambientales, academia y ¿por qué no?, organizaciones de la sociedad civil. Habrá que iniciar brindando información de la problemática para concientizar a la población que habita cuenca arriba y también al sector agrícola. Se plantearían claramente las acciones a realizar, además de incluir la evaluación y el seguimiento hasta que los actores involucrados se apropien de ellas, ya que en la balanza del impacto ecológico, los dragados no son la mejor solución.

Este texto fue elaborado durante la materia de Sistemas Socioecológicos Costeros, que es parte de la Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

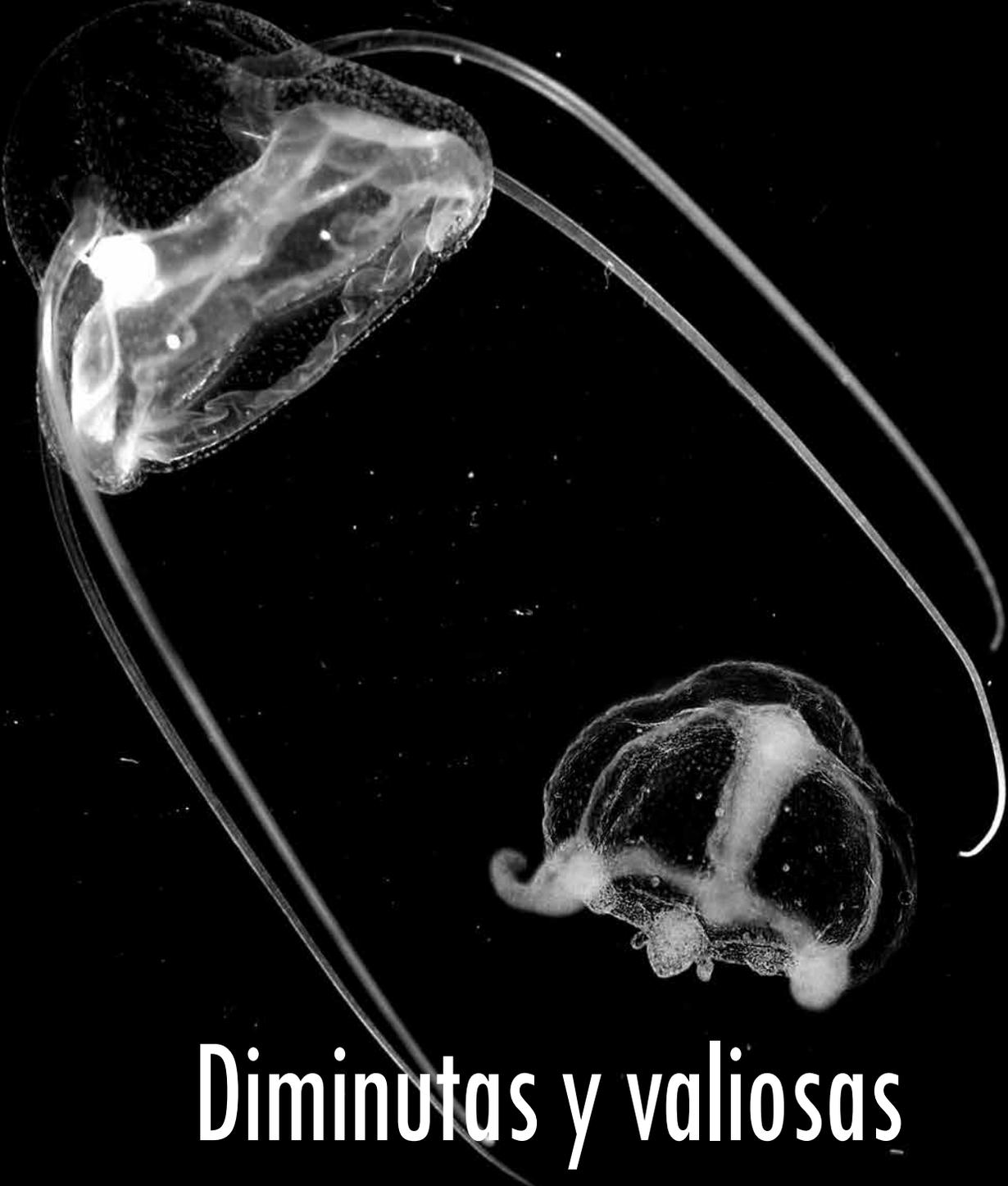
Carolina Velázquez Pérez es egresada del posgrado de ECOSUR, Unidad Tapachula (carolinavepe4@gmail.com).

ENTÉRATE



La Encrucijada comprende parte de los municipios chiapanecos de Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Huixtla, Villa Comaltitlán y Mazatán. Fue decretada como Reserva de la Biósfera el 6 de junio de 1995, con una superficie de 144,868 hectáreas de terreno ejidales, comunales y federales; comparte dos zonas económicas: Istmo Costa y Soconusco, y la integran un poco más de 60 comunidades dedicadas a la pesca, la agricultura y recientemente al ecoturismo. Cuenta con zonas de gran importancia, como Chantuto y Panzacola, donde las pesquerías de camarón y otras especies son la base de las actividades económicas. Los manglares y los bosques de zapotonales representan un área de contacto entre las comunidades marinas y terrestres; diariamente reciben una carga de nutrientes y sedimentos, y sobre todo, agua del océano y agua dulce que desembocan de ríos, arroyos terrestres y subterráneos. Ambos ecosistemas son pilares del ciclo de vida de una gran diversidad biológica: proveen hábitat, sitios de apareamiento y alimento. Invariablemente, cuando esos bosques son talados o se destruyen, hay una disminución de la pesca local.

Fuente: Octavio Aburto, “Los gigantes de la Encrucijada, Chiapas”, México Desconocido: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/reserva-biosfera-encrucijada-chiapas.html>



Diminutas y valiosas
hidromedusas

Tan fascinantes como el ser mitológico que les da nombre, las medusas resaltan por su "fantasmal" aspecto, sus versátiles formas de reproducción sexual y otras particularidades. Las hidromedusas son una clase importante de estos invertebrados, son microscópicas y algunas presentan un enorme potencial para la medicina (cáncer, alzhéimer y párkinson), como la Aequorea victoria con su proteína verde fluorescente.

De Medusa a medusa

Medusa es uno de los personajes más famosos de la mitología griega, identificada por su capacidad de convertir en piedra a quien la mirara a los ojos y por tener serpientes en lugar de cabello. La imagen de los reptiles agitándose en su cabeza se ha ligado a otras criaturas enigmáticas y antiguas, pero muy reales, que habitan las aguas del mundo desde hace millones de años: las medusas.

Los tentáculos de estos animales invertebrados son su asociación con las serpientes de la Medusa mitológica, debido a que ondulan en el agua y sobresalen de una estructura semiesférica llamada umbrela o campana. A las medusas se les conoce como aguamalas, aguavivas o lágrimas de mar, y presentan una gran diversidad de formas y tamaños. Pertenecen al filo Cnidaria y se agrupan en cuatro clases: Staurozoa (estauromedusas), Cubozoa (cubomedusas), Scyphozoa (escifomedusas) e Hydrozoa (hidromedusas). Los corales y anémonas o flores de mar (clase Anthozoa) son parientes muy cercanos y se incluyen en el mismo filo. Todos son animales marinos en su mayoría, pertenecen al filo Cnidaria y anteriormente eran conocidos como celentéreos o celenterados.

Existen algunas medusas tan pequeñas como una semilla de ajonjolí (4 milímetros) o incluso menores a 1 milímetro (hidromedusas), a la par de especies bastante grandes, como la escifomedusa melena de león (*Cyanea capillata*), cuyo cuerpo mide dos metros de diámetro y sus tentáculos se despliegan a más de 36 metros, incluso más extensos que la ballena azul (33 metros).

Las medusas son organismos gelatinosos y poco visibles, muchas por su pequeño tamaño y en general por su estructura corporal, pues son transparentes, con coloraciones en varios casos, y lucen como

extraños y bellos animales traslúcidos. La transparencia se explica por su constitución: alrededor del 95% de su cuerpo es agua.

Asimismo, carecen de cerebro, corazón, tráquea, branquias y otros órganos, pero cuentan con estructuras sensoriales, receptores nerviosos y sistema muscular. A pesar de que su constitución es simple, sus métodos de reproducción no lo son tanto; la palabra exacta para describirlos es versatilidad: se reproducen tanto sexual como asexualmente en varias modalidades: se autodividen, producen clones o forman grupos de células que llegan a crear nuevos individuos.

La mayoría de las medusas no presentan riesgos mayores para el ser humano, aunque ningún encuentro es agradable. Si en una playa entramos en contacto con una medusa, podemos experimentar ardor, dolor o erupciones como efecto de la inyección de sustancias tóxicas almacenadas en diminutas cápsulas llamadas *cnidocitos*. Estas cápsulas, del tipo nematocisto (urticantes) y de solo 0.002 milímetros, cubren sus tentáculos y disparan su contenido instantáneamente al menor roce con un cuerpo extraño; les sirven para defenderse y para atrapar presas.

Medusas *baby*

Las hidromedusas son muy peculiares debido a su microscópico tamaño y nula o ligera coloración; popularmente son conocidas como medusas *baby*. En México han sido estudiadas desde 1897 por científicos extranjeros y nacionales. En 2003, la especialista en zooplancton María de Lourdes Segura-Puertas y sus colaboradores listaron la presencia de 150 especies de hidromedusas en las costas del país y hasta la fecha no se ha actualizado esta información.

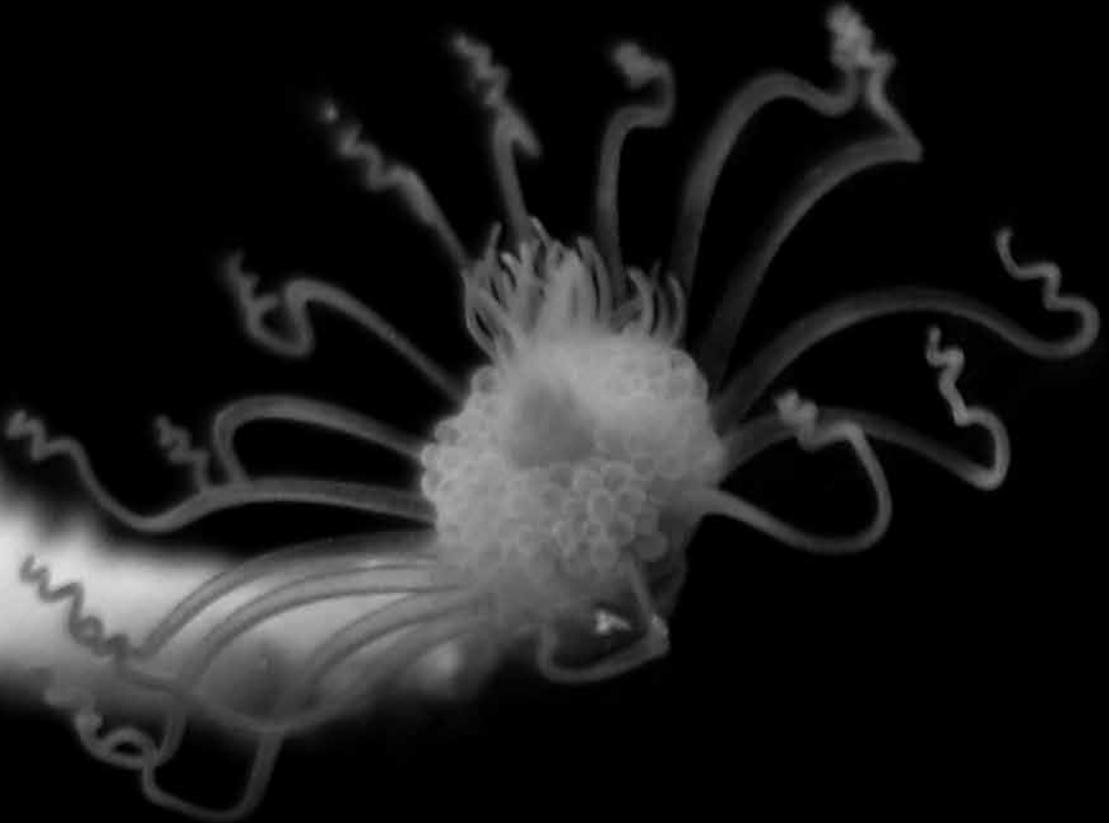
Habitan en todos los océanos, desde los polos hasta los trópicos, y a diferentes profundidades; sin embargo, también se encuentran en cuerpos de agua dulce y salobre. Al igual que los otros grupos, se desplazan de arriba hacia abajo y viceversa con las contracciones de su cuerpo, mientras que para moverse horizontalmente se dejan llevar por el viento y las corrientes.

A pesar de que su distribución es amplia, las hidromedusas ocupan principalmente los ambientes de las costas marinas. Su diversidad y abundancia están sujetas a las condiciones climáticas; los años más secos y con menos lluvias parecen favorecer su proliferación.

Hidropólipos e hidromedusas: dos caras de una misma moneda

A diferencia de otros animales que clasificamos solo como hembras y machos, las hidromedusas presentan dos fases en su ciclo de vida, lo que se denomina ciclo dimórfico: hidropólipos asentados en un sustrato e hidromedusas de movilidad libre. La mayor parte atraviesan la etapa de hidropólipo y pueden integrar colonias de muchos individuos o permanecer en solitario. Durante su primer periodo se suelen fijar a un sustrato natural (algas, conchas, corales, esponjas, rocas) o artificial (boyas, embarcaciones hundidas, muelles, plantas de energía hidroeléctrica, sistemas de maricultura). Cuando alcanzan la madurez sexual, producen y liberan hidromedusas femeninas y masculinas.

La misión de las nuevas criaturas es dar vida a otros hidropólipos e hidromedusas, ya sea en su lugar de origen o en otro sitio favorable. Al llegar a la adultez se preparan para reproducirse, las hidromedusas femeninas liberan óvulos y las masculinas espermatozoides; la unión de ambos gametos origina un huevo fertilizado que



Hidropólipo. Las pequeñas esferas en la parte superior podrían convertirse en medusas.

se transforma en una larva libre nadadora, conocida como plánula. Si la larva está destinada a convertirse en hidropólipo, buscará un sustrato en el cual establecerse, o bien, seguirá creciendo hasta formar una medusa. Existen hidromedusas que no presentan la fase de hidropólipo y también hay hidropólipos que carecen de una fase de hidromedusa.

Las hidromedusas se dividen en dos subclases: traquilinas e hidroidolinas. En el mundo existen 150 especies de las primeras y más de 3 mil de las segundas. Los hidropólipos de las traquilinas suelen ser muy pequeños, de menos de 1 milímetro, o a veces no se presenta esta fase. Por su parte, los de las hidroidolinas a menudo son coloniales y se agrupan como si fueran un solo organismo en el que algunos

se pueden llegar a especializar en la captura de alimentos (gastrozoides), otros en la reproducción (gonozoides) y otros para defensa (dactilozoides).

Las relaciones entre las etapas de hidropólipo e hidromedusa son muy interesantes, particularmente en el caso documentado de una especie conocida como "medusa inmortal", la *Turritopsis nutricula*. Siendo adultas pueden regresar al estado de pólipo, como si una mariposa volviera a ser crisálida. El proceso podría repetirse de manera indefinida y cabe suponer que no envejecen; desde luego, son susceptibles de ser mortalmente afectadas por enfermedades, cuestiones climatológicas o ambientales y por ataques de depredadores, por ejemplo, peces o babosas de mar.

¿Relaciones peligrosas?

Las hidromedusas son depredadoras voraces y necesitan consumir alimento de manera constante. Debido a que viven suspendidas en la columna de agua como parte del plancton, se alimentan principalmente de pequeños invertebrados y larvas de peces. Con un mecanismo que recuerda a las arañas pendientes de los insectos que caen en su telaraña, las hidromedusas detectan y localizan a sus presas mediante sus vibraciones al moverse por el agua y las atrapan con sus tentáculos. Mediante los cnidocitos paralizan al animal capturado, para luego digerirlo en su estómago (conocido también como manubrio).

Si estos invertebrados abundan en una localidad costera, pueden perjudicar a los bañistas. A la fecha, en México no se ha

La clase Cubozoa o cubomedusas, conocidas también como medusas en forma de caja, contienen especies de riesgo para el ser humano, por ejemplo, las diminutas irukandji (*Carukia barnesi* y *Malo kingi*) o la avispa de mar (*Chironex fleckeri*). Las hidromedusas (Hydrozoa) y las otras dos clases no representan en lo absoluto estos niveles de peligro, salvo que su veneno pudiera ocasionar una reacción alérgica.



Las llamadas medusas carabelas o fragatas portuguesas son agregaciones del sifonóforo *Physalia physalis* —los sifonóforos o cadenas de medusas, son un grupo de la clase Hydrozoa—, a las que se les ve flotando en algunas zonas de los océanos Pacífico, Índico y Atlántico. Se trata un organismo colonial formado por quizá unos mil ejemplares, que actúan como si fueran uno solo; pueden ocasionar daños al ser humano.

asociado ninguna hidromedusa con la llamada dermatitis o erupción del bañista marino, que es la inflamación de la piel por el contacto con los cnidocitos. Los únicos casos registrados en nuestro país por María de Lourdes Segura-Puertas y colaboradores en 2001, se presentaron en el Caribe mexicano y fueron causados por la medusa dedal *Linuche unguiculata*, que no pertenece a la clase de las hidromedusas sino a la de escifomedusas. Sin embargo, en otras naciones, la afectación sí se debió a hidromedusas, la medusa tapioca *Liriope tetraphylla* en Argentina.

Potencial en la medicina

Si bien es cierto que ocasionalmente las hidromedusas limitan la disponibilidad de re-

ursos para otros animales, además de la factibilidad de causar algún impacto en la salud de los turistas en las playas, también es indiscutible que son útiles para estudiar y entender procesos biológicos en las células humanas, como el desarrollo y propagación de las células cancerosas y la formación de nuevas células nerviosas (neuronas) en el cerebro. Esto es posible gracias a la proteína verde fluorescente (GFP, por sus siglas en inglés), cuyo descubrimiento y desarrollo es fruto del trabajo de los científicos Osamu Shimomura (Japón), Martin Chalfie y Roger Y. Tsien (Estados Unidos), que los hizo acreedores al Premio Nobel de Química en 2008.

En 1962, Osamu Shimomura descubrió la GFP, molécula extraída de la hidromedu-

sa *Aequorea victoria*, comúnmente llamada medusa gelatina de cristal, que ostenta un brillo verde cuando se ilumina con luz ultravioleta. En 1994, Martin Chalfie demostró que dicha proteína puede utilizarse como marcador genético en un segmento de ADN (molécula que codifica la información genética y es única e irreplicable en cada ser vivo); en otras palabras, sería factible usar esa luz para identificar un grupo determinado de células en un organismo.

Finalmente, durante la década de 1990, Roger Y. Tsien esclareció cómo la hidromedusa produce su luz brillante y logró cambiar el color para rastrear diferentes proteínas y procesos biológicos en las células de manera simultánea, haciendo que la GFP esté disponible prácticamente en todo el espectro de luz visible, lo que permite hacer marcajes multicolores y estudiar diferentes moléculas al mismo tiempo. Por lo tanto, hoy en día los investigadores son capaces de colorear individualmente las células y crear así un diagrama colorido de los componentes conectados de un órgano en específico, con el cual es posible identificar los elementos defectuosos que se encuentran involucrados en enfermedades como el cáncer, Alzheimer y Parkinson.

Con la información brindada en este artículo, es posible apreciar que las hidromedusas interactúan activamente con el ambiente y con el ser humano. Su estudio es relevante para conocer su diversidad y así prevenir, tratar o mitigar los impactos generados cuando son abundantes, y desde luego, aprovechar sus bondades y entender mejor a estos diminutos y valiosos seres. ✎

María A. Mendoza-Becerril es Cátedra CONACYT en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste en Baja California Sur (m_angelesmb@hotmail.com). Laura López Argoytia es coordinadora de Fomento Editorial de ECOSUR (llopez@ecosur.mx). José Agüero es escritor y comunicador científico independiente (j_zans@yahoo.com).

LUIS CALOCA

Antibios y reptiles

príncipes encantados del bosque

Conversación con Luis Antonio Muñoz Alonso

ANTONIO MUÑOZ ALONSO

Los anfibios y reptiles están entre los grupos de animales que suelen ser temidos porque se les considera venenosos, dejando de lado su importancia ecológica y otros aportes. De estas cuestiones ligadas a la herpetología trata el presente texto, el cual surge de algunas entrevistas radiofónicas con Luis Antonio Muñoz, quien se ha dedicado al tema desde hace aproximadamente 30 años; actualmente es curador de la Colección Herpetológica de la Unidad San Cristóbal de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y miembro del grupo de especialistas de anfibios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés).

Agua y tierra

La palabra anfibio viene del griego *Amphibia*, *amphí* ('ambos') y *bíos* ('vida'), que significa "ambas vidas" o "en ambos medios", debido a que son animales que pasan una parte de su existencia en agua y otra en la tierra. Se caracterizan por tener piel lisa, no poseen escamas ni uñas y sufren un proceso llamado metamorfosis. Regularmente ponen huevos en el agua, donde se desarrolla un pequeño renacuajo que vive ahí una temporada y después se transforma en un animal muy similar al adulto. Juegan un papel muy importante en las redes tróficas; una sola rana come alrededor de tres kilogramos de insectos al año, por lo que ayudan a controlarlos.

Los anfibios se clasifican en tres grupos: ranas y sapos, salamandras, y cecilias. Estas últimas se alimentan de lombrices de tierra (y se parecen a ellas); no tienen extremidades y viven enterradas, salen de vez en cuando, especialmente cuando llueve y se inundan los lugares que habitan. En Sudamérica existen cecilias que miden hasta un metro de largo. Hay que mencionar que los anfibios son quizá los animales vertebrados menos estudiados, por lo que desconocemos mucho sobre su ecología, conservación, hábitos alimenticios y reproductivos. En el mundo existen alrede-

dor de 8 mil especies y México cuenta con más de 370.

¿Anfibios venenosos?

En nuestro país no existen anfibios venenosos, sin embargo, hay sapos o ranas que secretan una sustancia lechosa que proviene de unas glándulas a los lados de la cabeza e irrita las mucosas bucales de los depredadores. Si los humanos agarramos alguno de ellos y nos tocamos la boca o los ojos, sentiremos ardor, pero nada más. En Centro y Sudamérica sí existen ranas extremadamente peligrosas, del grupo de los dendrobátidos. Su veneno ha evolucionado para defenderse de sus depredadores y por eso ostentan colores muy vivos: negro con rojo, rojo brillante, negro con amarillo, amarillo con rojo, rojo con azul turquesa.

Enfermedades y cambio climático

Se estima que una de cada dos especies de anfibios está en peligro o amenazada, lo que significa que la mitad de las especies del mundo y de México están decreciendo drásticamente. Las amenazas provienen de la destrucción, fragmentación y contaminación de su hábitat, sobre todo a causa de actividades humanas, aunque existen otros dos factores: las enfermedades y el cambio climático. La quitridiomycosis es la principal enfermedad y la causa un hongo, se ha presentado en los últimos 30 años,

provocando una grave disminución de las poblaciones, tanto en diversidad como en cantidad de individuos. El hongo tiene su origen en Asia y se dispersó debido al tráfico y exportación de anfibios.

Otro factor de impacto es la variación y modificación de los patrones de lluvia derivados del cambio climático, pues estos seres dependen del agua o de un ambiente húmedo para sobrevivir. En México, entre junio y noviembre —temporada de lluvias y de reproducción de ranas— actualmente hay pocas precipitaciones o llueve durante otros meses, lo que provoca un desfase en el ciclo biológico de los anfibios; las charcas se secan y para las larvas es difícil sobrevivir. Otro ejemplo son las ranas arborícolas que necesitan lluvias muy abundantes y usan los pequeños cuerpos de agua que se forman en el dosel (la parte superior de los árboles), ya sea en las bromelias o en los huecos de los troncos; sin agua suficiente, padecen *estrés ecológico* y su población disminuye.

Los reptiles

Los reptiles son el otro grupo de vertebrados que estudia la herpetología. En general tienen la piel llena de escamas y ponen huevos con cáscara semidura. Varios presentan peculiaridades específicas: los cocodrilos, que son muy antiguos y tienen un paladar secundario parecido al de los ma-



Agalychnis moreletii, El Pozo Turipache, Berriozabal, Chiapas.

míferos; las tortugas con su característica caparazón; las lagartijas, en su mayoría pequeñas, con cola y cuatro patas, y las serpientes, que no poseen extremidades.

En el mundo existen cerca de 11 mil especies de reptiles, y en México se han descrito cerca de 850, distribuidas en ecosistemas acuáticos, marinos, terrestres, arborícolas o que viven debajo de la tierra. Su alimentación es variada, los cocodrilos, por ejemplo, son totalmente carnívoros, mientras que las tortugas marinas son herbívoras, hay tortugas dulceacuícolas carnívoras y otras que se alimentan de plantas, algas o frutos. Las serpientes normalmente consumen carne y en cuanto a las lagartijas, las hay insectívoras o frugívoras. Gran parte de los reptiles son endémicos, de modo que el 57%, unas 490 de las especies que se encuentran en nuestro país, solo habitan en él y en ningún otro lugar del mundo. Aunque no son tantos, hay grupos de reptiles migratorios. Es muy conocido el hecho de que casi todas las tortugas marinas regresan a la playa donde nacieron para, a su vez, ovopositar en el mismo sitio. Por su parte, varias tortugas

dulceacuícolas realizan migraciones locales: al llegar las lluvias se trasladan a los ríos, a lugares que se inundan o donde se forman las charcas.

Miedo al veneno y sobreexplotación

Cada grupo es importante por razones particulares, pero de manera general podemos señalar lo más evidente: los reptiles juegan un papel vital en las redes alimenticias; casi todos los vertebrados carnívoros se alimentan de ellos, y si llegaran a desaparecer, múltiples redes tróficas colapsarían. También ayudan a controlar plagas de insectos y roedores: una serpiente se alimenta de cuatro ratones al mes, lo que equivale a unos 40 ratones al año o más. Un asunto importante es que en el campo de la medicina se ha descubierto que el veneno de las serpientes contiene una proteína que podría detener la metástasis del cáncer.

Igual que ocurre con la biodiversidad en general, los reptiles enfrentan las amenazas ligadas a la pérdida, fragmentación, contaminación y destrucción de su hábitat, a lo que se suma el aspecto cultural: muchas personas matan a las serpientes y a

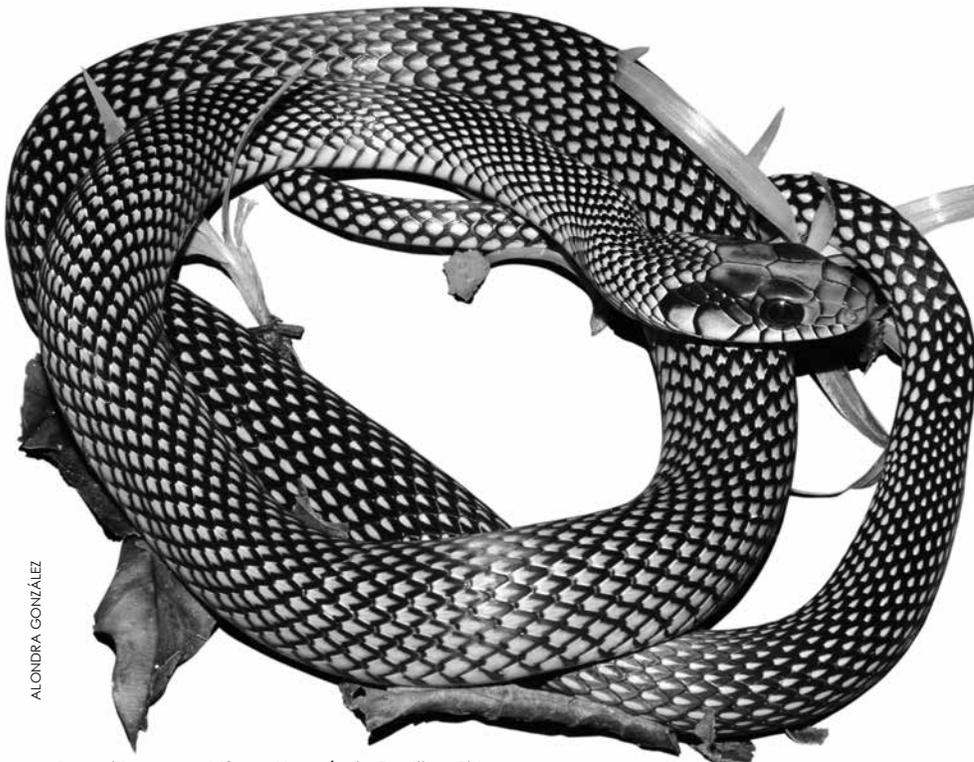
las lagartijas porque piensan que son venenosas, cuando solo el 10% de los reptiles poseen esa característica. Las tortugas son las más vulnerables a los riesgos; casi todas están en peligro de extinción, amenazadas o bajo alguna categoría de protección especial dentro de la Norma Oficial Mexicana; además de las afectaciones generales a los ecosistemas, sufren la sobreexplotación de sus huevos para el consumo o la caza exhaustiva.

¿Cómo identificar si un reptil venenoso?

En Chiapas solo existe una lagartija venenosa: el monstruo de Gila o monstruo chaquirado. Vive en las partes secas del estado; es grande y lento, y en su piel hay pequeñas escamas modificadas en forma de bolitas (parecen chaquira, de ahí el sobrenombre). Un grupo de reptiles venenosos en la entidad son las serpientes de la familia Viperidae, es decir, las víboras, entre las que se encuentran las nauyacac y cascabeles. En términos generales las podemos identificar por su aspecto; su cabeza es grande en comparación con el cuerpo y es de forma triangular, la parte de atrás es mucho más amplia que la delantera. A las nauyacac las llaman cuatro narices porque entre el ojo y la nariz tienen un orificio termorreceptor que solo poseen las serpientes venenosas y les sirve para detectar el calor de sus presas. Otro aspecto característico es que el cuerpo de las serpientes venenosas es mucho más ancho que el de las culebras, las cuales son más delgadas y frágiles. Las coralillos (Elapidae) también son venenosas y en su mayoría se identifican por sus anillos rojo, amarillo y negro.

Las tortugas

En México existen alrededor de 48 especies de tortugas, entre las dulceacuícolas y las marinas. Una de las más importantes en el sureste mexicano es la tortuga blanca (*Dermatemys mawii*). Es la más grande de Mesoamérica; pesa entre 14 y 20 kilos y su puro caparazón mide de 60 a 70 centímetros de largo. La gente las captura para



Drymobius margaritiferus, Marqués de Comillas, Chiapas.

ALONDRA GONZÁLEZ



Dermatemyx sp, Marqués de Comillas, Chiapas.

NORA LÓPEZ

alimento y en realidad no hay problema en este autoconsumo, sino cuando se les caza para comercializarlas en grandes proporciones y sin ningún control. Hace 30 o 40 años existían miles de estas tortugas y actualmente podrían desaparecer si no hacemos algo por ellas.

Por cierto, las tortugas y los cocodrilos son ingenieros del ecosistema, pues con su actividad favorecen ciertos aspectos en la conservación de los cuerpos de agua, sobre todo de lagunas, pequeñas charcas y pantanos; sus movimientos al entrar y salir del agua y remover la tierra del fondo ayudan a mantener la profundidad de las lagunas y airear el suelo. Además, se comen los frutos que caen en esos hábitats, y como no

digieren las semillas, entonces las dispersan en su excremento cuando se desplazan y cuando salen a tierra.

Un par de ejemplos de riesgos para los reptiles

El clima afecta el metabolismo de la mayoría de los reptiles. Son animales exotérmicos que dependen de los climas cálidos para desarrollar sus procesos fisiológicos; por eso vemos a las lagartijas y tortugas asoleándose. Por consiguiente, el cambio climático les causa afectaciones directas; sobre todo altera la proporción de sexos en varias especies: si la temperatura es mayor a 30 °C la cría en el huevo que se está incubando será hembra; si es menor, será

macho. En términos generales, la proporción de sexos debe ser de uno a uno, o bien, más hembras que machos. Pero al modificase la temperatura ambiental podrían ocasionar muchos machos y pocas hembras en un año o viceversa, con lo que nacen menos crías. Esta es una más de las razones para tomar en serio el cambio climático y actuar en consecuencia.

Otro ejemplo lo tenemos en las llamadas tortugas japonesas que se venden en cualquier sitio y las compramos como mascotas. Dado que son crías, su probabilidad de sucumbir es alta, aunque las tratemos de cuidar. Es casi seguro que morirán por alguna enfermedad o porque no les proporcionamos el alimento adecuado, o porque las mantenemos en lugares fríos cuando corresponden a sitios cálidos. Lo recomendable es no adquirir este tipo de tortugas, recordemos que comprar fauna silvestre afecta a las poblaciones a corto o mediano plazo. }{

Extracto de las entrevistas transmitidas en junio y julio de 2019 en Enciclopedia Radio, en la XERA Radio Uno, 760 AM y 101.5 FM, Sistema Chiapaneco de Radio, Televisión y Cinematografía. Disponibles en el portal de ECOSUR: "Entrevista a Antonio Muñoz / Príncipes encantados del bosque", <https://bit.ly/2OwkG20> y "Entrevista a Antonio Muñoz / Tortuga Blanca: patrimonio natural", <https://bit.ly/2XvwLZc>

Elena Anajanci Burguete Zúñiga es integrante del Departamento de Difusión y Comunicación de ECOSUR (eaburguete@mail.ecosur.mx).



ANTONIO MUÑOZ

Toma de Datos Morfométricos de *Dermatemyx sp*. Sitio1, Laguna San Leandro, REBIMA, Marqués de Comillas.

Pez león

invasor del Caribe

La imagen que presentamos a continuación muestra al pez león (*Pterois volitans*), originario del Indo-Pacífico, que se ha convertido en una especie invasora del mar Caribe. Según la literatura, fue liberado en las aguas del Atlántico cuando en 1992, el huracán Andrew impactó el sureste de Florida y destruyó los acuarios donde se cultivaba para ornato.

Humberto Bahena Basave, técnico académico de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), ganó con esta fotografía el segundo lugar, en la categoría "Subacuáticas", del 5º Concurso Nacional de Fotografía de Naturaleza Mosaico Natura, que organiza la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) con otras instituciones, y cuya premiación se realizó en junio pasado. El premio fue dedicado a Julio Espinoza Ávalos, oceanólogo e investigador de ECOSUR, fallecido hace alrededor de un año. //

La instantánea se puede apreciar a color en el sitio:
<https://bit.ly/346pWzW>

Más información sobre el pez león: Martha Valdez (2013). "El pez invasor que llegó para quedarse", *Ecofronteras* 47, 7-9, <https://bit.ly/35p4KW9>





Recomendaciones editoriales de Ecofronteras

Las personas interesadas en escribir para esta revista deben proponer artículos inéditos, que aborden temas de pertinencia social relacionados con salud, dinámicas poblacionales, procesos culturales, conservación de la biodiversidad, agricultura, manejo de recursos naturales y otros rubros vinculados a contextos de la frontera sur de México y orientados a la sustentabilidad. Si el contexto es otra zona geográfica, tiene que tratarse de manera comparativa o con alguna liga a la frontera sur. No se aceptarán reportes de investigación ni informes de trabajo.

Estilo

- ▶ Las temáticas deben plantearse de manera atractiva para nuestras lectoras y lectores, personas de ámbitos muy diversos, por lo que es necesario considerar el nivel de información que se va a utilizar.
- ▶ El lenguaje tiene que ser ágil, claro y de fácil comprensión para públicos no especializados, así que los términos técnicos se explicarán con sencillez.
- ▶ El tratamiento debe ser de divulgación, no académico. Pueden contarse anécdotas personales, usar metáforas o analogías y cualquier recurso estilístico que acerque al público. Conviene que autoras y autores se planteen lo siguiente: "Si yo no fuera especialista en este tema, ¿por qué me interesaría leer un artículo al respecto?"
- ▶ Para una mejor asimilación del contenido, es pertinente narrar los procesos que llevaron a los resultados o reflexiones que se plantean.
- ▶ El título debe ser sugestivo y conciso para llamar la atención.
- ▶ El primer párrafo es muy importante para que las personas sigan leyendo: una entrada interesante, que en lo posible haga referencia a vivencias o a cuestiones que los lectores puedan reconocer.
- ▶ Las citas bibliográficas deben ser las estrictamente necesarias; en lo posible, deben incorporarse al texto, por ejemplo: El sociólogo alemán Nicolás Kravsky, en un estudio realizado en 2010, asegura que...

Formato

- ▶ La extensión del artículo debe ser de entre cuatro y cinco cuartillas, escritas a espacio y medio (1.5) en tipo Arial 12 (aproximadamente 9,500 caracteres con espacios incluidos). No utilizar sangrías, tabuladores ni dar ningún tipo de formato al manuscrito: no justificar la mancha del texto, no centrar títulos ni subtítulos, no aumentar los espacios entre párrafos.
- ▶ Si se incluyen gráficas o figuras, deben servir para clarificar el contenido; si son de mayor especialización, es preferible omitirlas. Deben anexarse en archivo independiente, con buena resolución, textos en español e indicando la fuente.
- ▶ Procurar dividir el texto con subtítulos.
- ▶ Pueden incluirse recuadros que expliquen aspectos técnicos o complementarios.
- ▶ Se debe brindar material fotográfico si se cuenta con él. Entregarlo en archivo aparte, de preferencia en formato JPEG con resolución de 300 dpi, con el debido crédito autoral.
- ▶ Añadir una nota con la institución, categoría o puesto y área de adscripción de todas las autoras y autores, así como su correo electrónico. Por ejemplo: Alberto Martínez es investigador del Departamento de Sociedad, Cultura y Salud, ECOSUR Villahermosa (amarti@ecosur.mx); Ángela Boettger es académica de la Facultad de Agroeconomía, Universidad Autónoma del Sur (miranda@edu.mx).
- ▶ Incluir de tres a cinco "palabras clave". No deben formarse por más de tres términos. Ejemplo válido: recursos naturales; frontera sur. Ejemplo no válido: recursos naturales de la frontera sur.

Proceso general

- ▶ Pedimos a las autoras y autores que redacten un resumen sobre el tema y lo envíen a la editora (Laura López Argoytia, llopez@ecosur.mx), incluyendo el abordaje que piensa darse, así como un párrafo inicial. Se les responderá en un lapso no mayor a 10 días hábiles. Si se acepta la propuesta, hay que enviar el artículo completo, mismo que se somete a evaluaciones de contenido y estructura. En un lapso aproximado de dos meses, se informa el estatus del manuscrito.
- ▶ Las colaboraciones aceptadas se programan en alguno de los siguientes números; no hay compromiso de publicación inmediata. El equipo editorial se encarga de la revisión y corrección de estilo, y solicita a autoras y autores los cambios necesarios, complementos de información y visto bueno a la versión final en procesador de textos. Posteriormente sigue la fase de diseño, diagramación y última corrección.
- ▶ El Colegio de la Frontera Sur (instancia editora de Ecofronteras), requiere por parte de autoras y autores una carta de declaración de originalidad y cesión de derechos para fines de divulgación.

La distribución de la revista es gratuita. Se pueden solicitar ejemplares a ecofronteras@ecosur.mx.

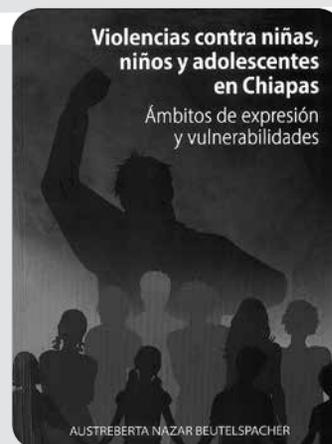
Ecofronteras digital: <http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras>



Violencias contra niñas, niños y adolescentes en Chiapas. Ámbitos de expresión y vulnerabilidades

Austreberta Nazar Beutelspacher
ECOSUR

El libro presenta un análisis detallado de la magnitud, características, ámbitos de expresión y relaciones ligadas con las violencias —explotación sexual comercial infantil, violencia física y abuso sexual— que enfrentan niñas, niños y adolescentes indígenas y no indígenas en tres ciudades de Chiapas: San Cristóbal de Las Casas, Tapachula y Tuxtla Gutiérrez. La obra abona al conocimiento de las causas y efectos de la violencia hacia la población infantil y juvenil, con el objetivo de incidir en la prevención de este problema de salud pública creciente en todo el mundo y que vulnera los derechos de la infancia.



¡Orquídeas en peligro! Guía de manejo sustentable en el Soconusco

Anne Damon
ECOSUR

Las orquídeas son una familia muy especial de plantas que apareció en la Tierra hace unos 112 millones de años y hoy se encuentran en riesgo de desaparecer, debido al saqueo ilegal y desproporcionado y a la destrucción de su hábitat. Para conservarlas y seguir disfrutando en el futuro de esta herencia natural, es necesario darles un manejo sustentable, para lo cual necesitamos aprender sobre ellas y su entorno. A través de esta guía, accesible para todo público, conoceremos sus características, su historia, los factores que las ponen en riesgo, así como actividades y técnicas para el manejo de tan bellas y peculiares plantas.



EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR es un centro público de investigación científica, que busca contribuir al desarrollo sustentable de la frontera sur de México, Centroamérica y el Caribe a través de la generación de conocimientos, la formación de recursos humanos y la vinculación desde las ciencias sociales y naturales.

Campeche
Av. Rancho Polígono 2-A
Ciudad Industrial Lerma · C.P. 24500
Campeche, Campeche
Tel: (981) 127 3720

Chetumal
Av. Centenaria km 5.5 · C.P. 77014
Chetumal, Quintana Roo
Tel: (983) 835 04 40

San Cristóbal
Carretera Panamericana y Periférica sur s/n
Barra de María Auxiliadora · C.P. 29290
San Cristóbal de Las Casas, Chiapas
Tel: (967) 674 90 00

Tapachula
Carretera Antigua Aerpuerta km 2.5 · C.P. 30700
Tapachula, Chiapas
Tel: (962) 628 98 00

Villahermosa
Carretera Villahermosa
Refarma km 15.5
Rancharía El Guinea 2a sección · C.P. 86280
Villahermosa, Tabasco
Tel: (993) 313 61 10

www.ecosur.mx

