



INSTITUTO  
DE ECOLOGÍA  
UNAM

# Oikos=

23

Septiembre 2019

De la historia natural a la ecología



## DIRECTORIO

### UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Enrique Luis Graue Wiechers  
*Rector*

Dr. Leonardo Lomeli Vanegas  
*Secretario General*

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
*Secretario Administrativo*

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

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

Dra. Mónica González Contró  
*Abogada General*

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

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

### INSTITUTO DE ECOLOGÍA

Dr. Constantino Macías García  
*Director*

Dr. Juan Enrique Fornoni Agnelli  
*Secretario Académico*

Ing. Ulises Martínez Aja  
*Secretario Administrativo*

Dr. Luis Enrique Eguiarte Fruns  
*Editor*

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

Victor Hernández Marroquín  
*Revisión de estilo*

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

Samara Kuri Lazcano a partir de  
L.D.G. Abril Ángeles Trujillo  
*Diseño editorial*

*Oikos*, Año 3, No. 23 (septiembre 2019) es una publicación cuatrimestral, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Unidad de Divulgación y Difusión del Instituto de Ecología, Ciudad Universitaria, Circuito Exterior S/N, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Tel. (55)5622-9002, correo electrónico: cequihua@ieciologia.unam.mx, <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/>. Editor responsable: Luis Enrique Eguiarte Fruns. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-111710202000-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Certificado de Licitud de Título y Contenido: en trámite, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

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

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

Fotografía de portada: Ilustración de *Acca sellowiana* de Alexander Von Humboldt. *The legacy of Alexander von Humboldt, "Voyage de Humboldt et Bonpland" 1808.* <https://fwbg.org/>





INSTITUTO  
DE ECOLOGÍA  
UNAM

Septiembre 2019

## CONTENIDO

### DEL DIRECTOR

#### **Humboldt, clima y cerditos**

Constantino Macías..... 4

### DE LOS EDITORES

#### **La múltiples vertientes de la ecología y la historia natural: de Aristóteles al Antropoceno, pasando por Humboldt y Celia Cruz**

Luis E. Eguiarte y Clementina Equihua Z..... 6

### ARTÍCULOS

#### **¡Azúcar! De cómo los humanos y los colibríes aprendieron a disfrutar (y sufrir) por lo dulce**

Carlos Martínez del Río ..... 8

#### **¡Por las barbas de Platón! Explicando la biología de las emociones**

Luis Lemus..... 13

#### **La producción de carne: necesidades para un futuro sostenible**

Thalita Fernanda Abbruzzini, Ulises Salazar Cabrera, Enrique Solís Villalpando, Gladys Zerquera Balbuena, Julia Carabias y Julio Campo..... 16

#### **Cuando el disturbio nos alcance: agua y cambios ambientales en el valle de Cuatrociénegas**

Irene Pisanty, Mariana Rodríguez Sánchez, Cynthia Peralta García, María C. Mandujano ..... 21

#### **Preguntas ecológicas obvias... pero no tan obvias**

Jorge Soberón ..... 27

#### **José Negrete Martínez (Q.E.P.D.), un pionero de la ecología teórica**

Jorge Soberón ..... 23

## Del director

### Humboldt, clima y cerditos

Constantino Macías

Una de las frases más famosas de inicio de un libro, ciertamente de las más memorables, es la de Charles Dickens al comienzo de *Historia de dos Ciudades*: “Era el mejor de los tiempos, era el peor de los tiempos, era la edad de la razón, era la edad de la estupidez” (*It was the best of times, it was the worst of times, it was the age of wisdom, it was the age of foolishness*). Dickens hacía referencia al periodo alrededor de la Revolución Francesa, pero desde luego que si hubiera vivido en nuestra época hubiera encontrado que la frase se aplica más adecuadamente a esta primera mitad del siglo XXI.

La nuestra es sin duda la edad de la razón si juzgamos a partir de la inmensa cantidad de conocimiento que hemos acumulado y que seguimos generando gracias a la acción conjunta de la ciencia y de la tecnología informática. Pero también es la edad de la estupidez. A pesar de que sabemos de manera incontrovertible que estamos sobrecalentando el planeta mediante la emisión de gases con efecto de invernadero, nuestros políticos —locales y del resto del mundo— insisten en promover una economía basada en combustibles fósiles y en carbón, formas de generación de energía a las que el calificativo de “sucias” les queda corto.

Diez años después del inicio de la Revolución Francesa, en 1799, el Barón Alexander von Humboldt decidió que ya no podía aplazar su visita a las Américas, y zarpando desde La Coruña tomó el rumbo del sur. Era otro mundo, tanto para él, oriundo del templado Norte europeo, como lo hubiera sido para nosotros, habitantes del siglo veintiuno. Los viajes largos en las Américas se hacían entonces a lomo de caballo, de preferencia en compañía de arrieros con recuas de mulas cargadas de vituallas y equipo. La naturaleza, si bien influida por culturas milenarias y hollada más intensamente a partir de la colonización por potencias europeas, era aun mayoritariamente autogestora. Con esto quiero decir que sus ciclos demográficos, las relaciones entre sus componentes, los ciclos biogeoquímicos se sucedían de forma que podríamos llamar normal, sin necesidad de protección o manejo humanos, lo que ya no es cierto casi en ninguna parte del mundo.

Los viajes de Humboldt por lo que hoy es Latinoamérica deben haber sido maravillosos, como lo fueron sin duda las expediciones comerciales que llevaban los productos de Asia, descargados con regularidad de la Nao de la China —también conocida como el Galeón de Manila— desde Acapulco hasta todos los rincones de la Nueva España y más allá, mercándolos por bienes

locales y agregándoles valor al entretejerlos con leyendas coleccionadas en las serranías de las Américas. Humboldt aprovechó sus expediciones, las documentó, y en el proceso se convirtió en un ícono, en una figura seminal del naturalismo Latinoamericano. El presente número de *Oikos=* rinde homenaje a esos viajes y a ese legado, y nos muestra que aún algo queda de la naturaleza que maravilló al naturalista alemán y que debería maravillarnos a los habitantes de esta región.

Esa naturaleza, fragmentada y degradada tras un par más de siglos de abuso, enfrenta un desafío mayúsculo. Hoy, cuando empezaba a escribir estas líneas, la ONU publicó una **llamada urgente** y nos puso una fecha límite perentoria —el año 2030— para revertir el rumbo de la extinción masiva, para corregir nuestra relación con el sistema climático global y para generar una relación más racional con el planeta. Hacerlo significará primeramente desafiar el modelo económico vigente, incluyendo a los mecanismos financieros predominantes (por ejemplo, **el mayor gestor de activos internacional, BlackRock, ha decidido dejar de invertir en compañías enfocadas en producción de carbón**), a nuestros hábitos de consumo, a nuestras preferencias de transporte, y en suma a nuestra idea de lo que significa “vivir bien”.

La hecatombe climática que atravesamos y las “realidades alternativas” que usan nuestros políticos para tratar de negarla han llevado a un retroceso colectivo que ha conducido a una buena —yo diría quizá mala— mitad de la humanidad a privilegiar el pensamiento mágico-religioso a costa de la racionalidad basada en evidencia, y a rechazar la pluralidad al favorecer nacionalismos miopes, lo que nos ubica indudablemente en el peor de los mundos. Pero, sin ser realmente optimista, creo que nuestra capacidad para generar información, almacenarla y procesarla, junto con el enorme y robusto acervo teórico-conceptual de lo que conocemos como ciencia basada en evidencia, pueden, en principio, ayudarnos a revertir las nefastas tendencias destructivas que definen nuestra relación actual con el planeta. En ese sentido estamos, sin duda, en el mejor de los mundos.

Es imposible sobreestimar el valor de la ciencia. Así, la ciencia, sin adjetivos. Es la sociedad, son los gobiernos y otros actores sociales, quienes aplican, o no, los conceptos y las tecnologías que se generan durante el quehacer científico. Pero somos los científicos —de todos los géneros— quienes debemos advertir a la sociedad sobre los riesgos de continuar cierto curso de acción,

o sobre los cambios conceptuales que regularmente ocurren en lo que la gente llama conocimiento científico.

Es esa capacidad de corregirse, finalmente, lo que le da valor a la ciencia, y en contraparte, devalúa a todas las mitologías, que son dogmáticas por definición. Hoy también me encontré con una [noticia espectacular](#), a la vez que espeluznante. La ciencia médica nos ha acostumbrado a aceptar que la mejor medida del fin de la vida, o sea de la muerte, es la llamada muerte cerebral. Un humano ya no puede regresar de ese estado, y legalmente ya no es más humano cuando lo alcanza. La ciencia médica nos informó la semana del 17 de abril que eso ya no es cierto. En un experimento cuya aplicabilidad habría sido cuestionada por muchos órganos de financiamiento científico, se demostró que es posible regresar a la vida a cerebros aislados de cerditos muertos. Es una noticia que me ha inquietado muchísimo.

Pensar en el estado mental de esos cerebros es angustiante, si bien los mismos autores se apresuraron a aclarar que esos órganos aislados no llegaron a recuperar la conciencia (admitiendo, de paso, que muchos mamíferos no humanos seguramente la tienen). La idea de despertar, tras haber muerto, sin ninguna re-

troalimentación sensorial —el cerebro de los mamíferos no siente nada— me resulta profundamente perturbadora. El hallazgo nos obliga a redefinir lo que significa la muerte, legalmente, éticamente, históricamente.

Es sólo en el mejor de los mundos que podemos aprender esto, sólo en el mundo más esclarecido podemos asomarnos a la posibilidad de prolongar la vida después de la muerte, por ejemplo tras un deceso traumático. Es sólo en el mundo más racional en el que nos enteramos con escalofriante certeza, que las miles de ejecuciones como las que ocurrían en la época de Humboldt —notablemente durante la revolución francesa—, como las que siguen ocurriendo por desgracia en muchos países, no segaron, no siegan la vida en forma inmediata. Es sólo en el más estúpido de los mundos que estas prácticas atroces siguen justificándose, apelando a conceptos nacionalistas, religiosos o ideológicos fundamentalmente cuestionables.

Humboldt vivió en una época terrible y maravillosa. Nosotros también. Él se esforzó en conocer su entorno y nosotros deberíamos, imperativamente, empeñarnos en conservarlo.



*Cerdos durmiendo.* Lápiz y acuarela de James Stark.  
 Dominio Publico via [Wikimedia Commons](#).

## De los editores

### Las múltiples vertientes de la ecología y la historia natural: de Aristóteles al Antropoceno, pasando por Humboldt y Celia Cruz

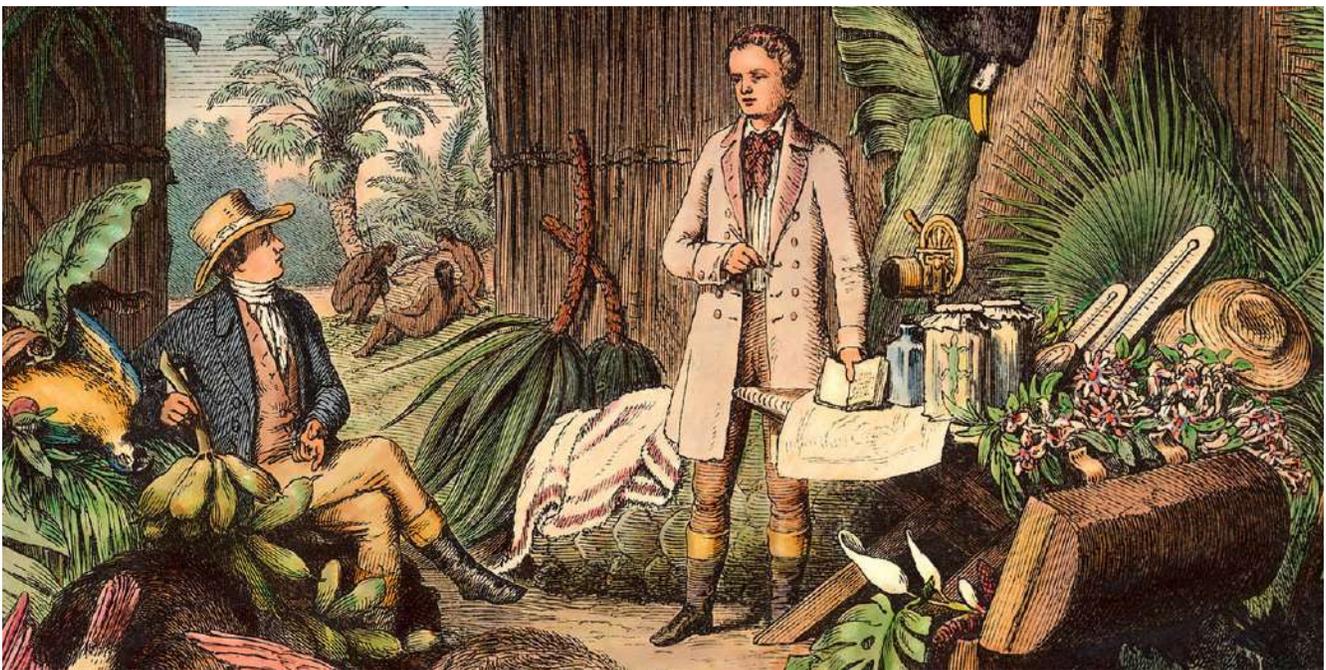
Luis E. Eguiarte y Clementina Equihua Z.

Este 2019 se cumplen 250 años del nacimiento de Alexander von Humboldt, uno de los más importantes naturalistas que han existido que, con sus observaciones y profunda percepción, fue uno de los fundadores de la Ecología moderna. Así, queremos dedicar a su memoria éste y los siguientes números del presente año de *Oikos=*.

Los intereses de Humboldt eran múltiples, aunque su formación inicial era como ingeniero en minería y así, armado de gran cantidad de instrumentos científicos que había comprado con su herencia, se embarcó a la América tropical en 1799. En su viaje, demostró la amplitud de sus conocimientos e intereses, compilando datos no sólo geológicos clásicos, sino mediciones de latitud, longitud, elevación, campo magnético, características de la atmósfera, etcétera y, junto con sus acompañantes, colectó todo tipo de plantas y animales y muestras geológicas, recopiló

datos económicos y administrativos, y estudió y documentó las antiguas culturas. Durante su larga y productiva carrera científica siguió analizando esta gran cantidad de datos y muestras.

En nuestro próximo número de *Oikos=* presentaremos más sobre la carrera y contribuciones de Humboldt. Pero este número constituye un modesto primer homenaje a este gran naturalista, conectando su obra con los estudios modernos de ecólogos y otros investigadores. Así, nuestro amigo y colega, el Dr. Carlos Martínez del Río, de la Universidad de Wyoming, EEUU resume en su artículo sus más de 35 años de estudios sobre la ecología evolutiva y fisiológica de los colibríes. Los colibríes se alimentan toda su vida básicamente de azúcar, dieta mortal por necesidad para nosotros. En su artículo plantea las preguntas ¿cómo pueden sobrevivir los colibríes con esta energética —pero pésima— nutrición?, ¿cómo evolucionó esta dieta y cambió su fisiología a partir



Humboldt y Bonpland Orenoque

Fuente: *Historic Collection / Alamy Stock Photo*. Imagen de dominio público.

de sus ancestros, los vencejos, que se alimentan más sanamente, de insectos?. Como tendrán que leer en esta fascinante contribución, Carlos también hace un sentido homenaje a Celia Cruz.

Ciertamente, la historia natural no comienza con Humboldt, se remonta a los principios de la humanidad. Pero famosamente, unos de los primeros grupos humanos en sintetizar y sistematizar nuestros conocimientos naturales fueron los filósofos griegos, y muchas de nuestras ideas se remontan a los conceptos clásicos de Platón y de su discípulo Aristóteles. Nuestro estimado colega, el Dr. Luis Lemus del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM, nos platica sobre el largo camino intelectual para entender mejor un aspecto central de la conducta y fisiología animal, el comprender si tienen y a qué se deben las emociones en los animales. En su texto nos refiere al otro gran naturalista del siglo XIX: Charles Darwin, quien dedicó por completo uno de sus libros al problema de la expresión de las emociones en los mamíferos. En esta contribución aprenderemos sobre este complejo punto, revisando la historia del tema desde los griegos hasta llegar a la moderna perspectiva de la neurobiología experimental en términos de circuitos neuronales.

Los naturalistas modernos y los ecólogos siguen trabajando con otros problemas complejos ambientales que seguro entusiasmarían a Humboldt. Thalita Fernanda Abbruzzini y un grupo de investigadores liderado por nuestro colega, el Dr. Julio Campo, nos muestran la complejidad de la interacción entre los ecosistemas naturales, el clima y los nutrientes y las diferentes estrategias de manejo para la producción de alimentos. ¿Cómo mantener o incrementar la producción alimenticia de tal forma que los ambientes naturales se degraden lo menos y lo más lentamente posible? Exploran esta complejidad a lo largo de río Usumacinta en el sur de México y detallan diferentes estrategias posibles de manejo del ganado.

Nuestra querida maestra de la Facultad de Ciencias, Irene Pisanty y sus colegas, nos platican del otro problema ambiental: la catástrofe anunciada en la biodiversidad producto de la pérdida de agua en el área natural protegida de Cuatro Ciénegas. Esta área natural es mundialmente reconocida por su alta y única biodiversidad, como lo hemos tratado en otros números de

*Oikos=*. Ellas hablan de forma amena sobre el problema del agua en el desierto y nos ilustran qué sucede en el ecosistema con su progresiva degradación debido a la sobreexplotación de los acuíferos en el área protegida, principalmente para la producción de alfalfa para alimentar ganado lechero. Así, analizan los efectos de la desecación reciente en sus detallados estudios sobre la dinámica de las poblaciones de plantas en el sistema del Churince, donde han recopilado información desde el inicio de su perturbación antropogénica hasta ahora. El proceso de deterioro es dramático y ya se han perdido dos lagunas en este sistema hidrológico único, la Grande y la Intermedia, también conocida como Los Güeros; en este momento ya sólo queda el manantial del Churince, pero cada vez con menos agua.

El Dr. Jorge Soberón, desde la Universidad de Kansas en Lawrence, nos manda atinadas reflexiones sobre el papel real que pueden tener los científicos —y en particular los ecólogos— en resolver los (mal) llamados problemas nacionales. Invitamos a los lectores a que lean las ideas del Dr. Soberón y lleguen a sus propias conclusiones sobre este tema que se ha puesto en la mesa recientemente de manera tan apremiante en México y en el mundo.

Concluimos este número con una nota sobre la vida y obra del Dr. José Negrete Martínez, quien murió el año pasado. El Dr. Negrete fue por muchos años investigador del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, donde no sólo fue maestro de diversos ecólogos e investigadores, sino que desarrolló trabajo realmente pionero en la frontera de la ecología teórica y otros campos, tópicos que hasta ahora por fin se están desarrollando. Jorge Soberón nos relata cómo el Dr. Negrete comenzó el estudio, en los años 70, de temas pioneros como la dinámica de las interacciones poblacionales en el espacio, con la ayuda de las computadoras disponibles en esa época, entre otros problemas ecológicos, epidemiológicos y redes neuronales.

Por último, queremos agradecer profundamente todo el trabajo que realizó para la revista la Dra. Laura Espinosa Asuar desde el primer número de la segunda etapa de nuestra revista, hace ya casi 10 años. Ella ha decidido seguir otros caminos, en los que le deseamos suerte, y reconocemos que su contribución marcó una etapa de *Oikos=*.

## Artículos

### ¡Azúcar! De cómo los humanos y los colibríes aprendieron a disfrutar (y sufrir) por lo dulce

Carlos Martínez del Río

El mexicano promedio consume aproximadamente 100 gramos de azúcar cada día, lo que equivale a 20 cucharaditas. Consumimos buena parte de esta sorprendente cantidad en bebidas gaseosas. Una botella de *Coca-Cola* de medio litro contiene la mitad de nuestro consumo diario de azúcar. Los mexicanos consumimos refrescos como si fuésemos colibríes: al son de 140 litros por persona por año.

Entre la década de los sesentas y la década actual, el consumo de azúcar aumentó a más del doble en nuestro país. Uno de los resultados de ese consumo desmesurado es que dos tercios de la población adulta sufre de sobrepeso y obesidad. Esa frecuencia en niños menores de 15 años es mayor al 30%. La mortandad anual por la diabetes asociada a la gordura se ha incrementado en paralelo al consumo de azúcar. En México, como en una gran parte del planeta, el consumo de azúcar se ha convertido en un problema de salud muy serio. El mundo sufre de *globesidad*. Sin embargo, los efectos patológicos del consumo de azúcar en humanos no son compartidos por otros animales que también consumen cantidades enormes de azúcar. En este artículo comparo el uso de azúcar entre humanos y un grupo de aves que consume cantidades casi increíbles de azúcar con completa, y envidiable, impunidad: los colibríes.

#### El azúcar en la historia y la economía

Los mexicanos no siempre fuimos consumidores de azúcar en exceso. Las culturas prehispánicas en el Valle de México endulzaban sus bebidas y postres con aguamiel o con *neutli* (miel prieta de maguey). En la península de Yucatán, los mayas endulzaban su bebida ceremonial, el *balché*, con miel de abejas nativas. Todo cambió cuando Cristóbal Colón introdujo la caña de azúcar al Nuevo Mundo. Hernán Cortés la trajo a la Nueva España y construyó el primer trapiche. El azúcar cambió la ecología del nuevo mundo y transformó la economía global. Destruyó los bosques del Caribe, transformó los hábitos de trabajo de los obreros en Europa, y les pudrió los dientes a los ingleses. La producción de azúcar estimuló uno de los crímenes más horribles de la humanidad: la esclavitud y el tráfico de esclavos de África a nuestro continente. La maravillosa música afroantillana, ejemplificada por Celia Cruz, la reina de la salsa, y su característica exclamación “¡Azúcar!”, es una de las consecuencias positivas de este crimen y de nuestra extraordinaria avidez por todo lo dulce. En nuestros

días, el azúcar refinada y sus derivados representan aproximadamente el 20% de las calorías en la dieta moderna. La producción de caña de azúcar representa el 6.2% de la producción agrícola mundial y el 10% de su valor monetario. Unas 27 millones de hectáreas en el mundo (un área del tamaño de Ecuador) son dedicadas a la caña. Los países que no producen azúcar importan 58 millones de toneladas cada año. El azúcar es el producto agrícola-industrial que nadie necesita pero que todo mundo desea.

El azúcar de mesa es una de las pocas sustancias que consumimos casi pura (la otra es la sal). Cuando comes la parte blanca de una calaverita de azúcar, estás ingiriendo sacarosa 99% pura. La sacarosa es un disacárido, un carbohidrato que las plantas construyen pegando dos azúcares más pequeños: la glucosa y la fructosa. La miel de abeja contiene principalmente glucosa y fructosa. Al nivel molecular, la miel es sacarosa partida en dos. El proceso bioquímico que las plantas usan para producir sacarosa fue inventado por el ancestro de las cianobacterias (o algas verde-azules) hace más de tres mil millones de años. Las plantas verdes, como la caña de azúcar, heredaron la habilidad de sintetizar sacarosa cuando adquirieron los cloroplastos por endosimbiosis con una cianobacteria. Solamente los organismos que pueden hacer la fotosíntesis generan azúcar.



La maravillosa música afroantillana ejemplificada por Celia Cruz, la reina de la salsa, y su característica exclamación, es una de las consecuencias de nuestra extraordinaria avidez por todo lo dulce. Fotografía © Photofest.

El azúcar no solo ha tenido un valor comercial importante para nosotros los humanos. Durante la larga evolución de las plantas verdes, el azúcar se convirtió en la *moneda* de intercambio entre estas y los animales que las polinizan y transportan sus semillas. Así, el néctar floral es el pago que reciben los polinizadores por el servicio de sexo a distancia que dan a las plantas. De forma similar, la pulpa dulce de muchos frutos evolucionó para atraer y alimentar a los dispersores de semillas. Los dispersores son aves y murciélagos que comen la fruta y se llevan las semillas (los descendientes de las plantas) dentro de su tracto digestivo para luego defecarlas en sitios que con frecuencia son mejores para su germinación y establecimiento.

### ¿Cómo obtuvieron los colibríes su gusto por el azúcar?

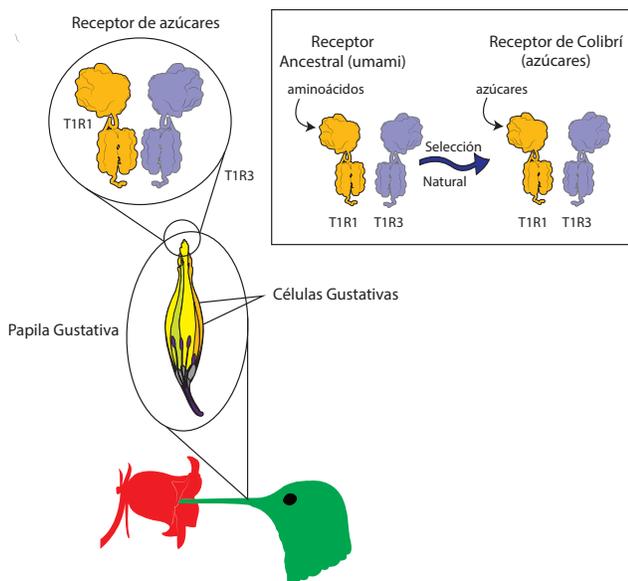
Muy probablemente los humanos heredamos nuestra propensión por el sabor dulce del azúcar de nuestros ancestros que eran omnívoros, y comían fruta cuando la encontraban. Dada nuestra afición por lo dulce, es tentador, pero erróneo, pensar que el gusto por lo dulce es una característica universal de los animales, o por lo menos de todos los mamíferos y las aves. La capacidad de los animales de detectar los distintos sabores de la comida depende de la dieta. Los perros, por ejemplo, son omnívoros. Además de carne, comen todo tipo de alimentos azucarados y harinosos. El resultado de esta variada dieta es que a los perros les gusta la comida dulce, incluyendo algunos endulzantes artificiales como el xilitol, que son inofensivos para los humanos pero tóxicos y hasta

letales para los perros. En contraste, los gatos son carnívoros estrictos y son completamente incapaces de detectar el dulce sabor del azúcar. Si a tu gato le gusta el helado de crema, es por la grasa y las proteínas. No por el azúcar.

El sabor de la comida es detectado por receptores en las papilas gustativas dispersas en las superficies de la cavidad bucal. Las papilas parecen cabezas de ajo en las que cada célula es un diente. La superficie expuesta de estas células contiene los receptores, proteínas que funcionan como antenas microscópicas que detectan los diferentes sabores. Cuando los receptores interactúan con diferentes sustancias en la comida, las células de las papilas mandan una señal al cerebro. Los receptores que detectan los sabores dulces están formados de proteínas llamadas TIRs (o receptores de gusto de tipo 1). Hay tres de estas proteínas: TIR1, TIR2, y TIR3. Estas proteínas trabajan en pares. Cuando TIR2 se combina con TIR3, el receptor detecta sustancias dulces como la sacarosa, la glucosa y la fructosa. Cuando el par es TIR1 y TIR3, el resultado es un receptor que detecta el sabor *umami*, que es el sabor de los aminoácidos en la carne y el pescado. El glutamato monosódico (una sal del ácido glutámico) es frecuentemente usado como sazonador (con el nombre comercial Ajinomoto) para amplificar el sabor umami en la comida.

Los gatos no pueden detectar lo dulce debido a que en ellos el gen responsable de la síntesis de TIR2 tiene un defecto. Los chitas, los tigres y los leones, todos parientes cercanos de los gatos domésticos, comparten este gen defectuoso y tampoco detectan el sabor dulce. El gen está en sus genomas, pero está dañado: se ha vuelto un pseudogen. Los pseudogenes son los remanentes de genes que en algún momento fueron funcionales y que al atrofiarse quedaron como fosilizados en el genoma. Curiosamente, en los lobos marinos y los delfines los genes que codifican para TIR1, TIR2 y TIR3 se han convertido en pseudogenes. Estos animales no detectan ni lo que sabe dulce ni lo que sabe a umami.

Puede que no sorprenda a nadie que los gatos y otros carnívoros estrictos no sean capaces de detectar lo dulce. Pero las gallinas también carecen de esta habilidad. Más raro aún, los guajolotes, los pinzones (*Taenopigia guttata*, para ser más preciso) y un montón de otras aves son incapaces de detectar el sabor dulce. En estas aves, no es que el gen que codifica para TIR2 tenga defectos, sino que está ausente. Debido a que las gallinas y los pavos están muy lejanamente relacionados con los pinzones, una hipótesis posible es que todas las aves carecen de este gen y por tanto no pueden detectar los azúcares. Hasta el momento todas las aves que han sido estudiadas carecen del gen. Esta observación sugiere un problema interesante: sabemos que a los colibríes les encantan los azucarados néctares de las flores. Y además, detectan los azúcares a concentraciones muy bajas. Jorge Schondube y sus estudiantes mostraron que los colibríes pueden detectar un cuarto de cucharadita de azúcar disuelto en 4 tazas de agua. Yo hice el experimento antes de escribir este párrafo, y descubrí que no puedo detectar esa concentración. Sospecho que tú tampoco podrías. ¿Cómo le hacen los picaflores para detectar el azúcar a tan bajas concentraciones?



La habilidad de detectar los azúcares es una innovación clave que facilitó la evolución de la asociación entre los colibríes y las flores y los transformó de insectívoros, como son todos sus parientes cercanos, a polinizadores.

Imagen: Hannah Sease.



En la edad media, los médicos usaban “ruedas de orina” con descripciones detalladas del color, olor, sabor y consistencia de la orina como herramientas de diagnóstico. Imagen de *Epiphania Medicorum*, Ulrich Pinder (1510).

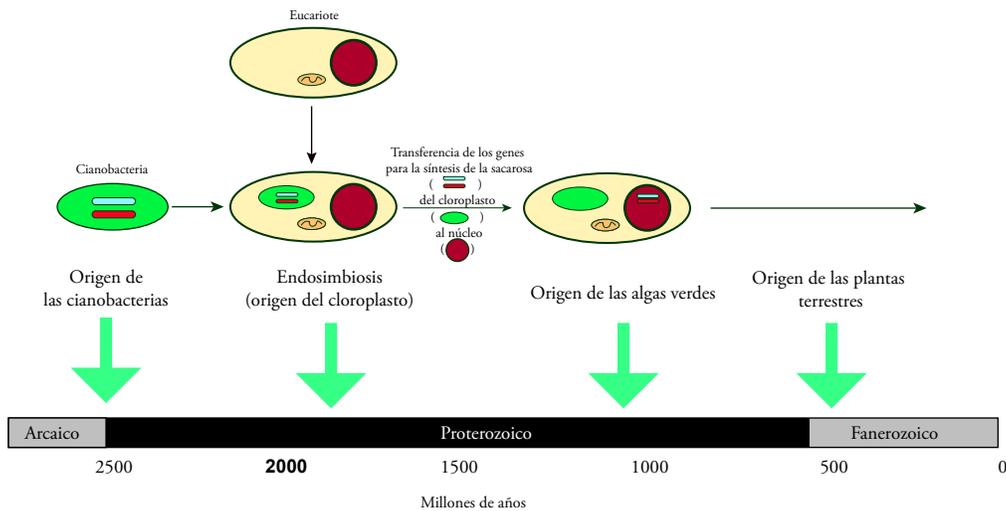
Los colibríes reinventaron el receptor de lo dulce. Maude Baldwin encontró que en estas aves el TIR3 se transformó de receptor de umami a receptor de azúcares por medio de selección natural. Baldwin identificó los cambios en la proteína gracias a los cuales ésta detecta el sabor de los azúcares en lugar de reconocer el sabor de los aminoácidos. Baldwin modificó el gen TIR3 de las gallinas usando ingeniería genética y lo transformó en uno similar

al de los colibríes. El gen modificado produjo una proteína que combinada con TIR1 dejó de identificar aminoácidos y fue capaz de detectar azúcares. Así, Baldwin resolvió un misterio de la evolución de los colibríes: cómo es que evolucionaron la capacidad de detectar los azúcares en los néctares de las flores.

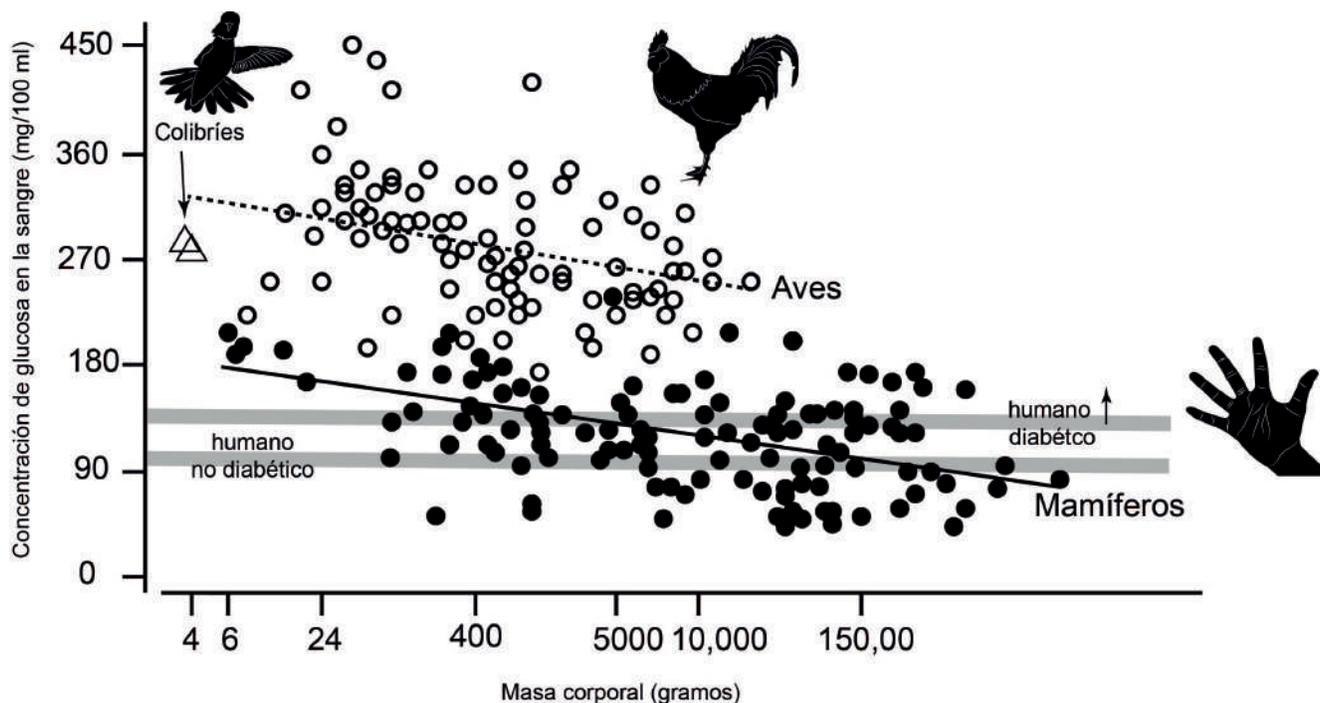
Los colibríes se separaron de sus parientes más cercanos, los vencejos, hace 40 millones de años. En algún momento después de esta separación, el linaje de aves que dio origen a los colibríes adquirió la capacidad de detectar el azúcar. Por medio de selección natural, el receptor de umami se transformó en uno capaz de detectar el azúcar. La habilidad de detectar la glucosa y la fructosa, además de la sacarosa, es una innovación clave que facilitó la evolución de la asociación entre colibríes y flores, y transformó a estas aves que eran insectívoras, como son todos sus parientes cercanos, en polinizadoras. Hoy en día, hay más de 300 especies de colibríes en el mundo y parece que la capacidad de detectar los azúcares en el néctar que ofrecen las flores facilitó la diversificación de este maravilloso grupo de aves.

### El empacho del estornino

Cada molécula de sacarosa está formada de una molécula de glucosa pegada a una de fructosa. Por lo tanto, uno pensaría que da lo mismo comer sacarosa que una mezcla de glucosa y fructosa. Pero no es así. Para poder asimilar la sacarosa, los animales tienen primero que romper el enlace entre los azúcares que la forman. Una vez roto este enlace, el intestino puede absorber la glucosa y la fructosa. La enzima responsable de romper la sacarosa en dos se llama sacarasa y está pegada a la membrana de las células intestinales. Una proporción muy pequeña de los seres humanos carece de sacarasa y es incapaz de digerir la sacarosa. Estos individuos tienen dos copias dañadas del gen que produce la enzima y sufren de diarrea cuando comen azúcar de mesa (para los entusiastas de



La habilidad para producir sacarosa probablemente evolucionó con la fotosíntesis oxigénica antes del origen de las cianobacterias hace más de 2,500 millones de años. Los ancestros de las algas y las plantas terrestres adquirieron la habilidad para sintetizar la sacarosa cuando establecieron una endosimbiosis con una cianobacteria que se transformó en cloroplasto. Posteriormente, los genes necesarios para la síntesis de la sacarosa fueron transferidos del cloroplasto/cianobacteria al núcleo. Imagen del autor.



Comparación de las concentraciones de glucosa en la sangre de colibríes con respecto a otras aves, mamíferos y humanos (diabéticos o no).  
Imagen del autor.

la genética: la insuficiencia de sacarasa intestinal es una condición asociada a un gen autosómico recesivo). Aunque la condición es rara en la mayoría de las poblaciones humanas (ocurre en menos de 1 de cada 2,000 individuos), es muy común en las poblaciones esquimales (Inuit, Yupik y Sirenik). Entre los Inuit de Groenlandia aproximadamente uno de cada diez individuos es intolerante a este azúcar.

Los colibríes son las aves más pequeñas. Además de ser muy chiquitos, revolotean frente a las flores. En términos de uso de energía, revolotear es muy caro. Consecuentemente, estos pequeños revoloteadores requieren consumir una cantidad enorme de energía por unidad de peso. Un colibrí de 4.5 gramos tiene que comer (y digerir) cada día casi la mitad de su propio peso en azúcares. Como es de esperarse, el intestino de los colibríes tiene una enorme capacidad para procesar azúcar. No solo tienen mucha sacarasa, sino que además cada una de las copias de la enzima tiene una actividad excepcionalmente alta.

Hace algunos años descubrí que no todas las aves pueden digerir el azúcar de mesa. Cuando les ofrecí una solución de azúcar a unos pobres estorninos (*Sturnus vulgaris*) que tenía en cautiverio, les causé un empacho espantoso. Fue tan malo que nunca la volvieron a comer, por más que la seguí ofreciendo. Después encontré que los estorninos son, como algunos humanos, intolerantes a la sacarosa debido a que carecen de actividad de sacarasa intestinal. Los estorninos no son excepcionales. Hemos encontrado una gran cantidad de especies (aproximadamente 600) que son totalmente incapaces de digerir la sacarosa. Las primavera y

zorzales (en los géneros *Turdus* y *Catharus*), los cenzontles (*Mimus*) y los cuitlacoques (*Toxostoma*) se cuentan entre ellos. Cuando la comen se empachan. Las especies incapaces de digerir la sacarosa son muy diversas, pero tienen una cosa en común: un ancestro que perdió la habilidad de digerir la sacarosa.

Curiosamente, muchas especies de aves incapaces de digerir la sacarosa comen fruta. Enormes bandadas de estorninos y primavera diezman los cultivos de cerezas y arándanos. Antes de ser domesticados, muchos de los frutos que los humanos consumimos eran comidos por aves, que dispersaban sus semillas. Estos frutos tienen glucosa y fructosa como endulzantes. Carecen de sacarosa.

Hace un par de meses recibí una de las llamadas telefónicas más raras de mi vida. ¡Cuando contesté el teléfono creí que era una broma de mal gusto! El editor de la revista de productores de cerezas en los Estados Unidos (*Good Fruit Grower*) me habló para preguntar si yo sabía acerca de la práctica de los granjeros en el estado de Washington de rociar las cerezas con azúcar. Las frutas hiper-azucaradas empachan a los pájaros y el método reduce notablemente el daño. Un granjero curioso leyó nuestros artículos y decidió aplicar el conocimiento.

### ¿Son diabéticos los colibríes?

La diabetes (o más correctamente la *diabetes mellitus*) es un padecimiento médico trágico y, desafortunadamente, es cada día más común. Existen dos tipos de diabetes. En la diabetes de tipo 1 (o diabetes dependiente de la insulina), las células que producen

insulina en el páncreas han sido dañadas por un ataque autoinmune. Los individuos que sufren de este tipo de diabetes dependen de la insulina para bajar el nivel de glucosa en la sangre. La diabetes de tipo 1 es relativamente rara en México (entre 3 y 5 de cada 10,000 individuos). En la diabetes de tipo 2 las células no responden a la insulina. Este tipo de diabetes es mucho más común. En México, 11.4 millones, o 9% de la población fue diagnosticada con diabetes de tipo 2 en 2015. La diabetes de tipo 2 está frecuentemente asociada a la obesidad. Los epidemiólogos estiman que la frecuencia de esta condición en México creció exponencialmente en los últimos 40 años. El incremento en la incidencia de diabetes parece haber coincidido con el aumento en el consumo de azúcares.

El nombre *diabetes mellitus* viene de las palabras griegas “sifón” (*diabainein*) y “dulce como miel” (*mellitus*). Los pacientes con este padecimiento tienen niveles muy altos de glucosa en la sangre. Esto impide que los riñones recuperen toda la glucosa que filtran. Los pacientes producen enormes cantidades de orina dulce y muy diluida. Hace 300 años, los médicos llamaban a la diabetes mellitus el “dulce mal de orina” (*sweet pissing evil*): una buena descripción de la enfermedad, pero además un buen nombre para una banda metalera. En la Edad Media, los médicos usaban *ruedas de orina* con descripciones detalladas del sabor, olor, color y consistencia de la orina como herramientas de diagnóstico. En 1674, Thomas Willis describió la orina de un paciente diabético como *deliciosamente dulce*. Afortunadamente, ahora tenemos métodos químicos para medir la glucosa.

Entre los vertebrados, los colibríes son los mayores consumidores de sacarosa. Los colibríes migratorios no sólo ingieren muchísima azúcar, sino que durante ciertas temporadas del año usan buena parte del azúcar que comen para acumular una cantidad enorme de grasa. Antes de migrar, un colibrí de garganta rubí (*Archilochus colubris*) acumula el 40% de su peso corporal en grasa. Los colibríes comen montones de azúcar y son estacionalmente obesos, lo que los hace excelentes candidatos para la diabetes. La concentración de glucosa en su sangre confirmaría esta suposición. Es de 3 a 5 veces más alta que la que se mediría en la sangre de un humano con diabetes. Desde una perspectiva humana, los colibríes tienen hiperglicemia crónica. Un humano en estas condiciones sería diagnosticado con *síndrome de diabetes hiperosmolar* y llevado rápidamente a un hospital. Sin tratamiento, el paciente se deshidrataría y hasta entraría en coma.

Los colibríes, sin embargo, no muestran ningún síntoma negativo. No producen una cantidad anormal de orina, y su orina no tiene glucosa. Mas aún, a pesar de que los colibríes mantienen estas concentraciones aparentemente altísimas de glucosa en la sangre todo el tiempo, sus tejidos no sufren ningún daño. En los humanos, cuando la concentración de glucosa se mantiene constantemente alta, la glucosa reacciona con proteínas y causa daño celular, especialmente en los capilares. Esta es la razón por la que los diabéticos con frecuencia pierden la vista por retinopatía y edema macular, sufren de complicaciones renales, y pueden tener

neuropatías que eliminan el sentido del tacto y la detección del dolor en las extremidades. Nada de esto les pasa a los colibríes.

Lo más curioso es que en comparación con otras aves los colibríes tienen concentraciones de glucosa en la sangre que son normales, o hasta un poco bajas. La definición clínica de hiperglicemia es tener niveles anormalmente altos de glucosa en la sangre. Las aves no sufren de hiperglicemia, porque tienen niveles de glucosa en la sangre que son normalmente altos. Las aves mantienen niveles de glucosa en la sangre mucho más altos que los mamíferos y regulan estos niveles usando mecanismos distintos. Esta observación contiene dos misterios: ¿cómo es que las aves recuperan toda la glucosa filtrada por los riñones? y ¿cómo es que las aves mantienen concentraciones altísimas de glucosa en la sangre sin consecuencias dañinas? Hasta el momento no tenemos respuestas para estas dos preguntas.

Es posible que estudiar a los colibríes pueda darnos claves sobre cómo tratar una enfermedad que los humanos padecemos cada vez más. Si investigando a los colibríes no encontramos la solución a la diabetes, por lo menos habremos aprendido algo nuevo sobre estos espectaculares animales, y lo que aprendamos alguien lo aplicará en el futuro. Las aplicaciones de la ciencia básica son impredecibles.

---

**Carlos Martínez del Río** es profesor del Departamento de Zoología y Fisiología de la Universidad de Wyoming, EUA. Es biólogo de la Facultad de Ciencias de la UNAM y doctor de la Universidad de Florida, EUA. Sus principales intereses caen en el ámbito de la ecofisiología de colibríes y murciélagos.

---

### Para saber más

- Bair, C.S. (2015). Why do humans crave sugary foods? Shouldn't evolution lead us to crave healthy foods? Science Questions with Surprising Answers. <https://bit.ly/3RVmLE8>
- Horton, M., A. Bentley y P. Langton. (2015). A History of Sugar - The Food Nobody Needs, But Everyone Craves. *The Conversation*. <https://bit.ly/3DwDZTN>
- Martínez del Río, C., H. G. Baker y I. Baker. (1992). Ecological and evolutionary implications of digestive processes: Bird preferences and the sugar constituents of floral nectar and fruit pulp. *Experientia* 48: 544-551.

## ¡Por las barbas de Platón! Explicando la biología de las emociones

Luis Lemus

El célebre ajedrecista norteamericano, Bobby Fischer, dijo una vez (palabras más, palabras menos) que “se cree que hay un número infinito de soluciones para una jugada; sin embargo, existe sólo una correcta”. Pero, tanto en este deporte-ciencia como en la ciencia en general, encontrar la jugada o respuesta correcta a un fenómeno natural no es nada sencillo. Por eso, una buena aproximación consiste en elegir la respuesta que se explique mediante menos variables. Esto es porque las variables implicadas se afectan entre sí. Las interacciones podrían ser infinitas, y por lo tanto, el fenómeno sería demasiado complejo como para entenderse. En otras palabras, sólo es posible estudiar el universo a partir de la observación de una o muy pocas variables a la vez.

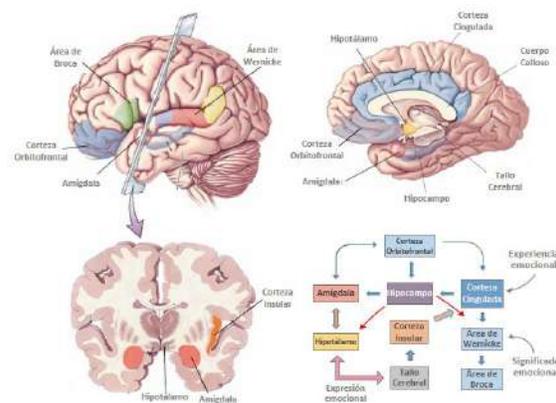
En el pasado, los fenómenos naturales se explicaban de manera compleja y con una fuerte dosis de imaginación (eran “ruidosos”) porque se carecía de métodos para definirlos utilizando las variables apropiadas y, posteriormente, desarrollando modelos. Las explicaciones eran inexactas y solo aparentes. Eran sublimes, es decir, apenas debajo del límite o umbral: como describir a un objeto sumergido en limo que se aprecia sólo de manera vaga. Por ejemplo, Aristóteles pensaba que los seres animados se diferenciaban de los inanimados porque contenían algo que se perdía al morir: el alma —antes ya definida por su mentor, Platón—. De modo que ese algo, invisible, alcanzaba su máximo refinamiento en los seres humanos —para colmo, pensaba que las mujeres tenían una versión deformada del alma de los varones—. Dos mil trescientos años después, muchas ideas equivocadas, como la del alma, desgraciadamente no han sido superadas del todo. Irónicamente, dentro de la compilación de libros aristotélicos conocido como el *Órganon*, Aristóteles mismo refiere a la idea griega de “no multiplicar entes sin necesidad”. Así, al definir a los seres animados a partir de algo que se pierde al morir, Aristóteles se vio en la necesidad de agregarles alma en lugar de explicarlos usando sólo los elementos físicos conocidos.

Para el año 1600 D. A. (después de Aristóteles), el filósofo y fraile franciscano de origen inglés, Guillermo de Ockham, se ganó la excomunión por rasurar con su navaja las barbas de Platón —metafóricamente, claro—, afirmando que era indispensable desechar las entidades que sean innecesarias para una explicación. A ese sistema de desecho, Bertrand Russell lo definió más tarde como el principio de parsimonia. La idea es que cuando

existan dos o más explicaciones de un problema, la más probable será la más simple.

Sin embargo, en temas como la biología, hallar la respuesta más parsimoniosa es particularmente complicado. Cuando Darwin comenzó sus observaciones del mundo natural, hubo que esperar veinte años para que escribiera sus resultados. Hoy, cualquiera que se tomara ese tiempo perdería el SNI ¡como mínimo! Afortunadamente, el tiempo que usó Darwin era el necesario para producir uno de los libros más revolucionarios de la historia —o mejor dicho evolucionarios—: *El origen de las especies*. Con él expurgó de entes innecesarios a la ciencia y daba al traste con prejuicios milenarios. Pero lo más importante fue que tuvimos por fin una ruta para encontrar las respuestas correctas a fenómenos con múltiples variables o multivariados.

Ya con las herramientas conceptuales a la mano, Darwin escribió otro genial libro: *La expresión de las emociones en los animales y en el hombre*. A lo largo de sus páginas analiza a profundidad las emociones, intentando definir las y acotarlas. Su tesis, por supuesto, era que las emociones humanas contenían elementos



Relación entre las emociones y las diferentes áreas y estructuras del cerebro. Imagen por el autor.



puramente biológicos compartidos por otros animales. Por lo tanto, necesariamente debieron evolucionar de ancestros comunes. Con este enfoque, Darwin no sólo descifraba uno de los problemas más complejos para el entendimiento humano, sino que además logró romper sus ataduras metafísicas.

Desgraciadamente, el ejercicio aún no ha permeado del todo. En neurobiología —que es el caso que mejor conozco—, siguen vivas muchas entelequias que explican a los fenómenos perceptuales. Entre ellos destacan no sólo las emociones, sino también fenómenos como la conciencia. Pero en los siguientes párrafos discutiré solamente un poco acerca de las emociones. Considero que las explicaciones en torno al tema suelen poseer entes innecesarios. Específicamente, el problema radica en pensar que cada emoción comprende un circuito neuronal propio. Sin embargo, en mi opinión las emociones bien pueden explicarse a partir de un mecanismo general y más simple: más parsimonioso.

### Emociones en los animales

Las emociones son experiencias subjetivas que, sin embargo, deben encajar en un esquema global de adaptación en todos los animales. Pero si ya de por sí es complicado estudiar las experiencias subjetivas en humanos, imagínense en animales.

Para que un animal se adapte exitosamente a su ambiente, debe producir conductas congruentes con las contingencias del entorno. Debe saber cuándo correr, cuándo atacar o cuándo esconderse. Pero, antes que nada, debe saber establecer prioridades. Para ello, requiere de un sistema que perciba los cambios fisiológicos que le ocurren a cada instante y que produzca las reacciones que mejor procuren su homeostasis. Además, dicho sistema debe calificar y recordar el resultado. La calificación será de gran utilidad para comparar eventos posteriores. Este sistema se trata precisamente de las emociones.

El proceso con el que se genera una emoción comienza con una alteración fisiológica que es registrada por el hipotálamo. La alteración puede ser derivada o ser el resultado de cambios hormonales, metabólicos o incluso de eventos sensoriales prominentes. Sus consecuencias son, por ejemplo, cambios del ritmo cardíaco, sudoración, variaciones en la temperatura, peristalsis (contracciones de órganos como los intestinos), contracción pulmonar, etcétera. Una vez producido un cambio fisiológico, el hipotálamo activa el sistema nervioso autónomo para que procure la homeostasis. El sistema autónomo, comprendido por los sistemas simpático y parasimpático, coordina la actividad de los órganos internos mediante circuitos neuronales que van de las vísceras a la médula espinal y luego al tallo cerebral. Así, ubicado al final del circuito, el tallo cerebral produce las respuestas estereotipadas y automáticas pertinentes. Estas respuestas son conocidas como respuestas primarias. Son cuatro y se observan en todos los animales. Se pueden recordar mnemotécnicamente porque comienzan con la letra c: correr, congelarse, combatir y... tener sexo. (Como dato curioso, en inglés comienzan con la letra f.)

Las respuestas primarias también pueden ser moduladas y caracterizadas por diversas áreas cerebrales. Todo el proceso se

puede ilustrar de la siguiente manera. Supongamos que, al caminar por la calle, de pronto te encuentras con un perro ladrando. Este evento provoca un desajuste homeostático: tu hipotálamo registra el evento y envía señales a las glándulas suprarrenales para que liberen cortisol. El cortisol induce incrementos de glucosa y ácidos grasos en la sangre, que son fuentes de energía, de manera que, ante el perro, tu sistema nervioso autónomo incrementa el ritmo cardíaco, la presión arterial y la frecuencia respiratoria, al tiempo que paraliza movimientos estomacales e intestinales, entre otros. Al cabo de una décima de segundo has adquirido una mayor capacidad para correr o para combatirlo. La amígdala es otra estructura cerebral que se enciende y mantiene el proceso activo. Mientras tanto, tus sistemas sensoriales y la corteza insular cotejan información del estímulo y del estado general del cuerpo. El resultado lo analiza tu corteza orbitofrontal, quien decide si la amígdala debe permanecer activa o no. Además, tanto la corteza orbitofrontal como la ínsula se comunican con la corteza cingulada, quien se encarga de asignarle magnitud al evento y produce una percepción de agrado o desagrado, dependiendo del estado homeostático actual. Cuando el desbalance homeostático es grande, como cuando se han pasado muchas horas sin dormir o sin comer, el gasto energético para compensarlo es mayor, por lo que la corteza cingulada califica el evento como de mayor relevancia. Además, la corteza cingulada envía información al hipocampo y a las cortezas del lenguaje. Estas regiones comparan al perro con eventos previamente aprendidos y lo clasifican. Así, tan sólo un tercio de segundo después del ladrido, se produce la emoción de miedo, la reacción corporal es grande y te hace exclamar ¡ay, nani-ta!

### Emociones en humanos

Con los sueños ocurre algo similar. Son historias cortas de las que nos percatamos al despertar; sólo así podemos recordarlos. De igual modo, las emociones son experiencias subjetivas que emergen al nombrar el valor de un cambio homeostático, por ejemplo, a la falta de glucosa en sangre le llamamos hambre, pero, dependiendo del contexto, a esa emoción la percibimos como tristeza o como enojo. En los humanos, resulta interesante observar que en la medida que nuestro lenguaje se incrementa, igualmente aumenta el número de emociones percibidas. En consecuencia, si nuestra capacidad de nombrar sensaciones se ve afectada, entonces también se verá afectada nuestra capacidad de percibirlas. De hecho, pacientes con *afasia de Wernicke*, es decir, con lesiones del área cortical que almacena información semántica, pierden la capacidad de comprender el significado de las palabras habladas, pero además suelen mostrar fuera de todo contexto y sin razón aparente euforia, ansiedad, paranoia, etcétera.

Definir de manera precisa emociones como la empatía, el amor, el odio, los celos, la alegría, la tristeza, el sentimiento de justicia, entre muchas otras, ha sido históricamente un asunto más cercano a la filosofía que a la biología. Seguramente porque son, principalmente, descripciones subjetivas y retóricas de nuestros sentimientos; sentimientos que nuestro cerebro registra pero

que son esculpidos por nuestras relaciones sociales. En contraste, emociones como el hambre, la sed, la ira o el miedo, parecen ser un poco más objetivas y, por lo tanto, universales. Probablemente es porque se trata de sensaciones extremas, sensaciones que acotan y dan una escala a nuestras emociones aprendidas.

### Definir las emociones

En síntesis, las emociones ocurren al contextualizar la magnitud de una sensación y ponerles un nombre. Por ejemplo, la sensación de vacío en el estómago puede ser hambre o puede ser angustia; misma sensación, distinta emoción. Tanto el hambre como la angustia son expresiones de desbalances homeostáticos que requieren atención inmediata. La falta de nutrientes produce hambre, pero previamente provocó la necesidad de correr, combatir, o congelarse, y quizás también produce el deseo de tener sexo. El impulso a buscar alimento puede no ser inmediato; sin embargo, la magnitud del hambre definitivamente modula de inmediato la conducta.

Una emoción aún más abstracta, por ejemplo, la gratitud, quizás posea el mismo valor homeostático que la angustia, la ansiedad, el miedo o el hambre. ¿Suena raro? La alternativa es que sea una emoción exclusivamente humana. Una emoción con sus propios y únicos circuitos cerebrales. Pero resulta curioso que los niños no nacen con esa emoción; ¡hay que enseñarles a agradecer! Los reyes tal vez ni siquiera perciban esa emoción porque no tienen nada que temer. No necesitan sentir angustia, ni miedo, ni ansiedad por no agradecerle a los plebeyos. A nosotros, en cambio, se nos enseña a agradecer y que si no lo hacemos habrá represalias, que pueden llegar al extremo de la alienación social. Por eso nuestras madres nos obligan a agradecer a punta de chanclos. Nos lo enseñan porque es de vida o muerte. Entonces, si el agradecimiento es aprendido, no existe un circuito *per se* del agradecimiento. Ni del amor, ni de la justicia, ni de la empatía... En definitiva, sospecho que si tratáramos de poner más atención a la manera en que las emociones se correlacionan con procesos homeostáticos, entonces sería posible entenderlas como un continuo fisiológico. Se reducirían entidades y circuitos innecesarios para explicarlas. Lo que quedaría por descubrir sería la manera con la que los circuitos neuronales representan palabras y enunciados.

Por ejemplo, en mi laboratorio del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM, investigamos la manera con la que los sonidos son integrados en circuitos neuronales que participan en el reconocimiento semántico. En otras palabras, circuitos que representan palabras, que al concatenarse forman enunciados o historias que caracterizan funcionalmente a los sentimientos previamente percibidos. La idea es que cuando se activan circuitos neuronales que dan significado a los distintos estados del cuerpo, se perciben las emociones. Sin embargo, aún queda un largo camino experimental para poner a prueba estas nociones. Por lo pronto, como hizo Guillermo de Ockham, habrá que sacarle más filo a la navaja porque Platón sigue teniendo la barba muy larga.

**Luis Lemus** es investigador del Departamento de Neurociencia Cognitiva del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM. Estudia la manera en la que el cerebro produce equivalencias perceptuales entre sonidos e imágenes.

### Para saber más

- Darwin, C. (2004). *On the origin of species*, 1859. Routledge.
- Darwin, C., y P. Prodger. (1998). The expression of the emotions in man and animals. *Oxford University Press*, USA.
- Mlodinow, L. (2016). The upright thinkers: The human journey from living in trees to understanding the cosmos. *Vintage*.
- Pinker, S. (1999). How the mind works. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 8821: 119-127.
- Sagan, C. (2011). *The demon-haunted world: Science as a candle in the dark*. Ballantine Books. (en español: *El Mundo y sus demonios. La ciencia como una luz en la oscuridad* de editorial Crítica)

## La producción de carne: necesidades para un futuro sostenible

**Thalita Fernanda Abbruzzini, Ulises Salazar Cabrera, Enrique Solís Villalpando, Gladys Zerquera Balbuena, Julia Carabias y Julio Campo**

A medida que los efectos nocivos del cambio climático se han intensificado, el público ha volteado a ver a la carne como la culpable. Cada día más gente aboga por comer menos carne para ayudar a salvar el ambiente y mejorar la salud personal. Algunos movimientos activistas proponen incluso establecer un impuesto para reducir su consumo. El informe *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*, publicado en 2006 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), atrajo la atención internacional porque en él se afirmaba que la ganadería era responsable de 18 % de los gases de efecto de invernadero (GEI) producidos en todo el planeta y que generaba más GEI que todos los tipos de transporte juntos. Sin embargo, esta última afirmación es errónea, ya que los investigadores del estudio de la FAO analizaron el ciclo de vida para estudiar el impacto climático de la crianza del ganado, y en cambio para el transporte emplearon un método basado únicamente en las emisiones directas. Si bien el error ha sido reconocido por el propio organismo internacional, la persistencia de la idea ha llevado a suposiciones inexactas en relación con el consumo de carne y el cambio climático que, al día de hoy, aún permean en la opinión pública.

La ganadería extensiva es indiscutiblemente la causa principal del cambio en el uso de la tierra y la pérdida de la biodiversidad a escala global, pero la información acerca de su impacto en otros componentes ecosistémicos, como el suelo, es aún contradictoria. Numerosos estudios han demostrado que la ganadería tiene impactos negativos en las reservas de carbono y los nutrientes del suelo. Sin embargo, también hay estudios en los que no se detectaron cambios negativos significativos; en algunos casos incluso se ha demostrado que la ganadería tiene un impacto positivo en el almacenamiento de carbono. Ante estos datos, surge un desafío que hay que atender: alcanzar una gestión del sistema productivo tal que permita conservar la mayor capacidad de resiliencia y garantice la producción de carne con un bajo costo ambiental.

### Alimentación, ecosistemas y resiliencia

Los cultivos agrícolas y la ganadería son los principales responsables del cambio en el uso de la tierra y la pérdida de la biodiversidad, del cambio en el clima global, del uso de agua y de la contaminación de ecosistemas terrestres y aguas costeras debido

al uso excesivo de fertilizantes con nitrógeno y con fósforo. Estos cambios ponen en riesgo la integridad del *Sistema Tierra* si se superan los límites de autorregulación de sus ecosistemas lo cual, obviamente, afectará negativa y drásticamente el bienestar de la humanidad.

Sin embargo, a pesar de que se están degradando los ecosistemas del planeta y se está perdiendo biodiversidad para extender el área de producción de alimentos, el hambre en el mundo sigue aumentando, lo cual es paradójico. El reporte *El Estado de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición en el Mundo*, publicado por la FAO en 2018, señala que en 2017 alrededor de 821 millones de personas —es decir, uno de cada nueve adultos en el mundo— y más de 150 millones de niños sufrieron retraso del crecimiento por carencia de alimentos. Este reporte pone en duda que se pueda alcanzar el Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) de erradicar el hambre (Objetivo 2). Los ODS forman parte de un acuerdo internacional pactado por los estados miembros de las Naciones Unidas para el año 2030.

Ante esta paradójica y compleja problemática, se ha propuesto reducir los impactos ambientales de la producción de los alimentos, incluyendo cambios en las dietas, mejoras tecnológicas en los sistemas agropecuarios y reducción de la pérdida de alimentos y desperdicios. Nosotros pensamos que no hay una única forma de resolver el problema del hambre y que la aplicación de

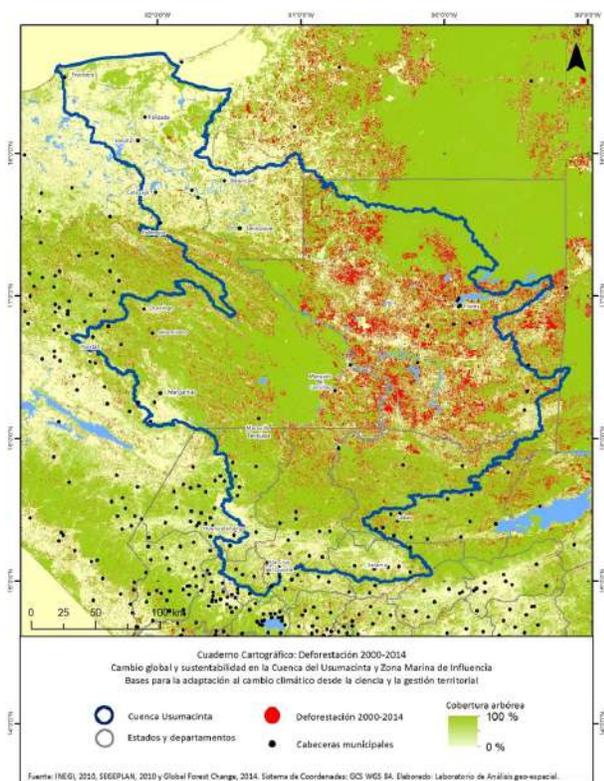


Ganadería extensiva en el ejido Quiringuicharo, Marqués de Comillas, Chiapas  
Fuente: T. F. Abbruzzini.

las posibles soluciones exige además, mejorar el conocimiento de la resiliencia de los sistemas agropecuarios, en particular frente a la variabilidad climática a escala global, especialmente en regiones tropicales. Es en estas regiones donde: 1) hay una mayor presión para el cambio en el uso de la tierra, como consecuencia de varios factores (una mayor demanda de alimentos debido al crecimiento de la población global, las mejoras económicas en países de economías emergentes y la transferencia de la producción desde el trópico a zonas extratropicales), 2) se concentran las mayores dificultades para el acceso a insumos como fertilizantes, plaguicidas, cuidado animal, etcétera, y 3) la brecha entre el rendimiento obtenido y el esperado es mayor.

### El Proyecto Usumacinta

El Instituto de Ecología de la UNAM participa en un proyecto multidisciplinario que contribuye a generar información para la gestión sostenible de los recursos naturales y de los agroecosistemas en la cuenca del río Usumacinta. En este amplio proyecto participan 18 instituciones nacionales y cuatro extranjeras, cuyo objetivo es establecer un modelo de gestión territorial sostenible en la cuenca del río Usumacinta y su zona marina de influencia. Dicho modelo se fundamenta en la adaptación al cambio climático y la disminución de la pérdida de la biodiversidad con acciones a corto, mediano y largo plazo.



Deforestación en la cuenca del río Usumacinta entre los años 2000-2014. Fuente: Peralta-Carreta *et al.* (2017). Cuaderno Cartográfico - Proyecto CONACYT - FORDECYT 273646, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C. (permiso otorgado por José Alberto Gallardo Cruz).

La cuenca del río Usumacinta abarca más de 77 mil km<sup>2</sup>; de esta superficie, aproximadamente el 43% se localiza en los estados de Chiapas, Tabasco y una mínima parte en Campeche, mientras que el restante, poco más del 56%, transcurre en Guatemala. La porción mexicana de la cuenca concentra la mayor riqueza natural del país y es una de las zonas de mayor biodiversidad del planeta. Por otra parte, la ganadería extensiva es una actividad recurrente en esta región; el 80% del valor de la producción pecuaria en la cuenca se concentra en el ganado bovino, actividad que ocupa el 85% de la superficie mexicana de la cuenca, y constituye una de las principales causas del cambio de uso de la tierra.

El cambio severo en el uso del suelo y la fragmentación de la vegetación nativa en la cuenca del Usumacinta han causado la pérdida de más de la mitad de la superficie forestal en algunos estados, como es el caso de Chiapas. Según el *inventario estatal de gases con efecto de invernadero*, el cambio de uso del suelo y las prácticas agropecuarias son responsables del 77% de las emisiones totales del estado; la mayor parte de esas emisiones se atribuyen a las actividades ganaderas. Por ejemplo, Tabasco, durante el período de 1968 a 2000, perdió 124,508 hectáreas de selva y otras 912,942 de humedales debido al crecimiento de la superficie ganadera.

Ante las crecientes amenazas para la conservación de la biodiversidad en la cuenca del río Usumacinta, se vuelve imprescindible buscar alternativas que conviertan los sistemas ganaderos extensivos en sistemas multifuncionales, es decir, que se conviertan en agroecosistemas, y con ello ofrezcan una mayor variedad de oportunidades para el desarrollo sostenible de las comunidades locales.

### Ganadería en la cuenca del Usumacinta

Considerando las diferentes variantes y la gran heterogeneidad biogeoquímica de los paisajes tropicales, uno de los análisis del proyecto Usumacinta tiene como objetivo diagnosticar la condición actual de los suelos en la cuenca del río, su vulnerabilidad al uso pecuario y su potencial de resiliencia al cambio climático. Para esto seleccionamos sitios bajo ganadería extensiva, con monocultivos de pasturas, en un gradiente climático de 1,855 a 2,840 mm de lluvia anual a lo largo de la parte mexicana de la cuenca del río.

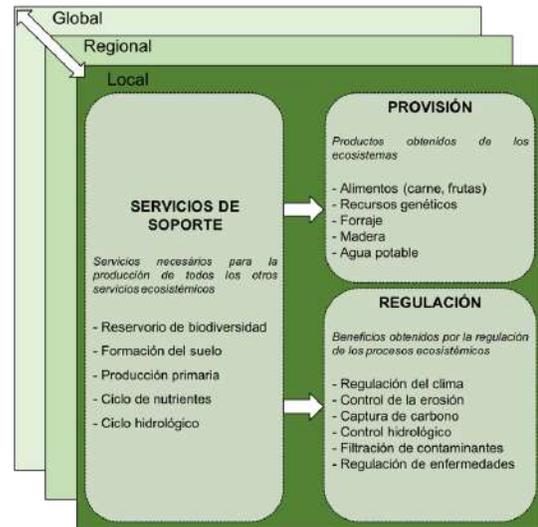
La ganadería bovina en la cuenca de estudio se practica en suelos que son naturalmente deficientes en fósforo (véase *Fósforo: la nueva arista de la crisis global ambiental* en Oikos= 16), nutriente esencial para la productividad de las pasturas. La situación se agrava por las frecuentes inundaciones y la pérdida de fertilidad del suelo bajo uso pecuario, con consecuencias negativas para la engorda del ganado en la región.

### Diferentes pastos forrajeros para diferentes ambientes

Se ha buscado resolver los problemas que afectan la productividad de las pasturas mediante la diversificación en la selección de especies cultivadas, pero el éxito de esta estrategia ha sido limitado. Por ejemplo, en regiones más propensas a inundaciones episódicas

dicas se han implementado pasturas mejoradas como *Brachiaria humidicola*, una especie de origen africano resistente al encharcamiento y de buena adaptación a suelos de fertilidad media a baja, pero de baja productividad, lo que provoca, de manera alarmante, la degradación física y química de los suelos que ya mencionamos. En condiciones donde los potreros se ubican en tierras no inundables, se cultiva otro pasto del mismo género, *Brachiaria brizantha*, que tiene mayor valor nutritivo, pero que requiere suelos más fértiles que permitan alcanzar un mayor rendimiento, con lo que persisten las dificultades para mantener la adecuada calidad del suelo.

Por otra parte, en regiones más propensas a inundaciones por marejadas ciclónicas, como es el caso de los Pantanos de Centla, el cambio en el uso de la tierra ha facilitado la invasión de especies como el arrozillo (*Echinochloa colona*) y el zacate egipcio (*Dactyloctenium aegyptium*). Si bien estas especies son de potencial forrajero y se adaptan muy bien al encharcamiento e inundación y a los suelos salinos e infértiles de la región, tienen consecuencias negativas para la conservación de los ecosistemas nativos de la región, por ejemplo, el puktal o selva mediana de pukté (*Bucida buceras*). El riesgo es que puedan convertirse en plagas graves e inhiban el crecimiento de las especies nativas. Ello ejemplifica



Servicios ambientales brindados por los sistemas silvopastoriles. (Adaptado de *Ecosystems and human well-being: a framework assessment*)  
Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, 2003.

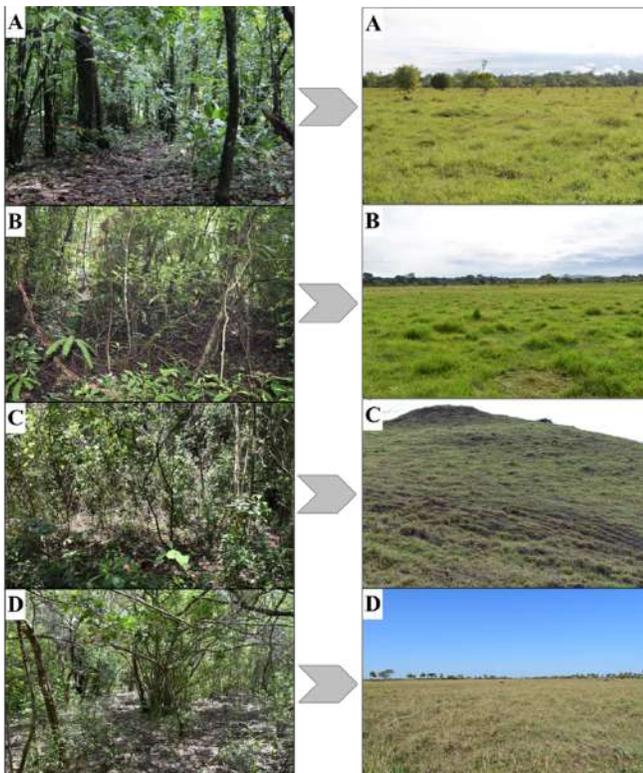
cómo la composición de la pastura presente en cada región, ya sea sembrada o invasora, permite hacer inferencias respecto a la calidad de los suelos, su potencial para la producción animal y la vulnerabilidad de los predios a los eventos climáticos extremos.

### Los suelos de la cuenca y su problemática

La cuenca del Usumacinta se asienta en materiales geológicos que dan origen a una gran variedad de suelos con diferentes capacidades de resistir a los impactos del cambio en el uso de la tierra. El clima de gran parte de la región tiene una temperatura (-25 °C) y una lluvia media anual (mayor a los 2,000 mm) elevadas, condiciones que favorecen la degradación de los suelos por lavado de bases (cationes básicos del suelo) y erosión hídrica. Al desmontar la vegetación nativa de una selva y transformarla en sistemas ganaderos extensivos, se reduce el carbono y los nutrientes almacenados en los suelos y, al paso de unos pocos años, también se degradan las condiciones físicas (compactación del suelo, disminución en la infiltración del agua) y biológicas de los suelos (reducción de la diversidad microbiana del suelo), lo que disminuye la productividad de las pasturas y, por lo tanto, el rendimiento ganadero.

La situación se agrava en aquellas zonas de la cuenca donde la ganadería extensiva se realiza en zonas con pendientes de moderadas a fuertes, donde las capas superiores más fértiles del suelo se pierden por erosión. Esta pérdida de suelo y la degradación de su fertilidad han provocado que los ganaderos abran nuevos potreros utilizando la roza, tumba y quema de los parches remanentes de vegetación nativa.

Ante la degradación física, química y biológica de los suelos bajo uso pecuario en la cuenca, ahora se explora el desarrollo de proyectos para transformar la ganadería tradicional en agroecosistemas sostenibles y resilientes. Por ejemplo, en el sur de Chiapas, la Asociación Ganadera Local General del río Lacan-



Ejemplos de la conversión de vegetación nativa (a la izquierda) a sistemas ganaderos extensivos (a la derecha) en distintas localidades de la cuenca del río Usumacinta. A) Marqués de Comillas, Chiapas; B) Frontera Corozal, Chiapas; C) Tenosique, Tabasco; y D) Pantanos de Centla, Tabasco.  
Fuente: T. F. Abbruzzini.

tún ha adoptado desde hace seis años un modelo de reconversión productiva de los sistemas ganaderos en colaboración con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sus nuevas estrategias de uso de la tierra sustituyen los monocultivos extensivos por sistemas silvopastoriles y el establecimiento de bancos de forraje.

### Los sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles son una categoría de agroecosistemas que incluyen árboles y arbustos nativos en una matriz de pasturas (Santos-Gally *et al.*). El resultado es un agroecosistema que brinda una mejor y mayor variedad de servicios ambientales. Además, gracias a que los suelos están mejor conservados, estos agroecosistemas tienen mayor capacidad para capturar carbono y en ellos se incrementa el aporte proteico de los forrajes y los ingresos económicos derivados del cultivo de especies maderables y frutales.

Los sistemas silvopastoriles de la cuenca del Usumacinta cuentan con especies de árboles y arbustos nativos de alto valor

nutritivo y comercial, que forman parte importante de los recursos genéticos de la región, tales como el cocoite (*Gliricidia sepium*), el cuajilote (*Parmentiera aculeata*), el guacibán (*Albizia leucoxylon*), el guácimo (*Guazuma ulmifolia*), el guayacán (*Guaia-cum officinale*), el jobo (*Spondias mombin*), la leucena (*Leucaena leucocephala*), el macuili (*Tabebuia rosea*), la mora (*Morus alba*), el pichoco (*Erythrina coralloides*), el popistle (*Blepharidium mexicanum*) y la vara negra (*Rhus standleyi*).

Sin embargo, en otras localidades de la misma región apenas se inicia la conversión a agroecosistemas silvopastoriles, y siguen predominando prácticas con base en monocultivos de especies exóticas de pastos. Es en estas localidades donde nuestro proyecto busca documentar el establecimiento de sistemas silvopastoriles u otras formas de ganadería que expandan el componente arbóreo a los terrenos destinados a la ganadería. De esta manera, el río Usumacinta podría constituirse en una gestión peculiar modelo, reduciendo el impacto ambiental y fomentando el aprovechamiento de los recursos naturales de la región.

#### Glosario

Agroecosistema	Ecosistemas intervenidos por los humanos modificando sus componentes bióticos y abióticos para la producción de alimentos, fibras, madera y otros productos.
Biodiversidad	La variabilidad entre organismos vivos de ecosistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas, incluyendo la diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas.
Cuenca	Territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago.
Efecto invernadero	Proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones.
Fertilidad del suelo	Las características inherentes del suelo y las interacciones que ocurren entre sus componentes químicos, físicos y biológicos, los cuales confieren su capacidad de recibir, almacenar y transmitir energía para apoyar el crecimiento de las plantas.
Ganadería extensiva	Sistema de producción animal que implican el despeje de tierras en las cuales se cultiva una o pocas especies de gramíneas como alimento para el ganado, y en el que se utilizan poca tecnología e infraestructura, y pocos o nulos insumos externos (enmiendas orgánicas o fertilizantes inorgánicos).
Ganadería silvopastoril	Sistema de producción animal que se basa en la siembra de pastos en combinación con arbustos y árboles multipropósito (maderables, forrajeras o frutales) bajo un modelo de pastoreo rotacional (alternancia de periodos cortos de pastoreo con periodos largos de descanso de la tierra), produciendo más forraje para el ganado y con una mayor eficiencia de conversión alimentaria por unidad de área que la ganadería extensiva.
Gestión territorial sostenible	Modelo de gestión que propicia la conservación, restauración y aprovechamiento del capital natural de la región y de los servicios ambientales, favorece mejores condiciones de vida para la población de la región, involucrando a los actores clave y contribuyendo a la consolidación de las capacidades locales para enfrentar las amenazas a los escenarios de los cambios ambientales globales.
Heterogeneidad biogeoquímica	Variabilidad en los ciclos de los elementos químicos y sustancias que se transfieren entre sistemas vivos y los ambientes circundantes.
Matriz	Elemento más frecuente, dominante y englobante del paisaje, caracterizado por su mayor cobertura, conectividad y/o mayor control sobre la dinámica del sistema, mayor continuidad.
Resiliencia	Capacidad de los ecosistemas de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad; pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado.
Servicios ecosistémicos	Contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano.

### Conclusiones y perspectivas del proyecto Usumacinta

El cambio climático demanda atención urgente, y los sistemas pecuarios generan una gran variedad de efectos negativos en la biodiversidad, el aire, el agua y el suelo. Este impacto, junto con el vertiginoso crecimiento de la población mundial que seguirá demandando carne y productos lácteos, ponen en riesgo la integridad del *Sistema Tierra* y comprometen el cumplimiento del **Objetivo del Desarrollo Sostenible** de erradicar el hambre, las cuales son razones suficientes para trabajar enfáticamente en la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas pecuarios.

Este contexto saca a la luz un gran desafío: alcanzar una gestión adecuada del sistema productivo que permita conservar la mayor capacidad de resiliencia y garantice la producción de carne con un bajo costo ambiental. La implementación de sistemas silvopastoriles puede contribuir a favorecer la conservación de la fertilidad de los suelos a largo plazo, a reducir la presión para el continuo cambio del uso de la tierra y a diversificar los servicios ambientales que los agroecosistemas proveen. Por lo tanto, el estudio de los sistemas ganaderos en la cuenca del Usumacinta contribuye a generar información básica necesaria para el desarrollo de un modelo de gestión territorial sostenible con base en el cuidado de la salud ambiental de la región. Para cumplir con el objetivo central de este amplio proyecto se realiza un esfuerzo conjunto para fortalecer las capacidades de los productores locales, que involucra la participación de instituciones federales y estatales, organizaciones no gubernamentales, e instituciones y asociaciones de productores locales. Asegurar el éxito de este gran esfuerzo exige dar continuidad a los procesos inducidos por el proyecto Usumacinta a través del fomento de la investigación, la comunicación y la transferencia del conocimiento a los tomadores de decisiones, a las instituciones educativas y a los ejecutores que tienen injerencia en la región.

### Agradecimientos

Agradecemos el apoyo técnico brindado por parte del personal local de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y El Colegio de la Frontera Sur, y a los ganaderos y asociaciones ganaderas que nos recibieron, acompañaron y apoyaron durante los trabajos de campo. También, al Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C., por el apoyo logístico brindado durante la realización de las actividades del proyecto y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo financiero otorgado (FORDECYT – CONACYT 273646) al proyecto *Cambio global y sustentabilidad en la cuenca del río Usumacinta y zona marina de influencia. Bases para la adaptación al cambio climático desde la ciencia y la gestión del territorio.*

**Thalita Abbruzzini** colabora en el Laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima (LBTyC) del Departamento de Ecología Funcional del Instituto de Ecología. Es doctora en Ciencias por la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Participó como investigadora posdoctoral en el proyecto FORDECYT- CONACYT 273646. Sus líneas de investigación son la gestión sostenible del suelo, dinámica de la materia orgánica del suelo y emisiones de gases de efecto invernadero.

**Ulises Salazar** es biólogo egresado de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Colaboró en el LBTyC, Instituto de Ecología, como estudiante de maestría investigando la vulnerabilidad de la salud del suelo al cambio en el régimen de lluvia.

**Enrique Solís** es maestro en ciencias (edafología) por la Facultad de Ciencias de la UNAM, y técnico académico titular en el LBTyC, Instituto de Ecología, UNAM.

**Gladys Zerquera** es ingeniera industrial y de sistemas egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y realizó una maestría en Ciencias en el Programa de Posgrado en Ciencias e Ingeniería de Materiales de la UNAM. Actualmente realiza una maestría en el Programa de Posgrado en Ciencias de la Sustentabilidad, en el LBTyC, investigando la vulnerabilidad y capacidad de respuesta ante el cambio climático en socioecosistemas pecuarios de la cuenca del Usumacinta.

**Julia Carabias** es profesora de carrera titular de tiempo completo en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Es autora de numerosos artículos científicos y coautora de varios libros en temas ambientales relacionados a sus líneas de investigación, en particular en la regeneración de selvas tropicales, restauración ambiental, manejo de recursos naturales, ecología y sistemas productivos, cuentas patrimoniales, cambio global, pobreza y medio ambiente y política ambiental.

**Julio Campo** es investigador titular en el LBTyC del Instituto de Ecología, UNAM. Es autor de numerosos artículos científicos y coautor de varios libros en temas relacionados con sus líneas de investigación, las cuales son: disturbios y dinámica de ecosistemas, ecología de la restauración, uso de la tierra-ciclo de nutrientes-alimentos, entre otros.

### Para saber más

- Carabias J., J. de la Maza y R. Cadena. (2015). Conservación y desarrollo sustentable en la selva Lacandona: 25 años de actividades y experiencias. *Natura y Ecosistemas Mexicanos*, A.C., México. 694 p.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2015). Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. *Red de Investigación e Innovación Tecnológica para la Ganadería Bovina Tropical*, México. 272 p.
- Cotler-Ávalos H. y M.L. Cuevas-Fernández. (2017). Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México. *Fundación Río Arronte, I.A.P. – Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable, A.C., México*. 112 p.
- Soares D. y A. García-García. (2017). *La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México. 422 p.

## Cuando el disturbio nos alcance: agua y cambios ambientales en el valle de Cuatrociénegas

Irene Pisanty, Mariana Rodríguez Sánchez, Cynthia Peralta García, María C. Mandujano

### De sorpresa en sorpresa

Verano de 2008. El timbre de un teléfono celular nos sorprendió a todos, ahí, casi a la mitad de la nada, alejados del mundanal ruido, viendo por primera vez la poza de La Becerra. Al contestar, sonó la voz demandante de su padre: “¿Dónde estás?” Ella respondió con suavidad: “En Cuatrociénegas, como te dije”. “¿Qué estás haciendo?”, preguntó la preocupada voz. “Viendo unos peces”, contestó la joven estudiante. “Dijiste que ibas al desierto y en los desiertos no hay peces”. Guardamos silencio mientras ella contestaba, y nuestra emoción creció con la conciencia de que estábamos ante algo extraordinario: los humedales, las pozas y los manantiales en una de las zonas más hermosas que hayamos visto: el valle de Cuatrociénegas, al centro de Coahuila. Los peces que observábamos eran de una especie que sólo se encuentra ahí, en el desierto más seco de México. A partir de ese momento, iríamos de sorpresa en sorpresa. Menos mal que al adentrarnos en el valle se perdió la señal celular, porque la siguiente respuesta hubiera sido “oyendo el oleaje”, que no era del mar, sino de una laguna, y ahí sí que no nos hubieran creído nada. ¿Qué hacía una laguna, con todo y sus olas, a mitad del desierto?



El valle de Cuatrociénegas se encuentra en la parte central del estado de Coahuila, México, y es parte del desierto Chihuahuense. Es una región del desierto en donde la presencia de agua en algunas partes es característica.

Fuente: Elaboración propia con imagen de *GoogleMaps*.

El valle de Cuatrociénegas es parte del desierto Chihuahuense y tiene todas las características típicas de una zona árida: un clima extremo, con inviernos muy fríos y veranos realmente calientes, y muy poca lluvia (alrededor de 200 mm anuales en promedio). Sus suelos, pobres en nutrientes, son muy ricos en sales y retienen poca agua, por lo que ésta se filtra rápidamente. ¿De dónde salen los cuerpos de agua que caracterizan a este sitio? ¿Cómo es que en este valle viven muchas especies animales y vegetales que necesitan mucha agua? ¿Qué pasa ahí?

### Una antigua historia actual

Esta zona tiene una historia muy singular. Se ubica en una región que originalmente fue marina y costera, en los remotos tiempos en los que los continentes formaban una sola masa de tierra (Pangea), alrededor del mar de Panthalassa, que existió hace alrededor de 150 millones de años. La actual zona de Cuatrociénegas era, en ese entonces, un mar somero.

Actualmente, el valle de Cuatrociénegas alberga una gran variedad de ecosistemas como matorrales espinosos con mezquites, cactus y ocotillos, pastizales halófilos dominados por pastos que crecen en suelos con altas concentraciones de sales, matorrales rosetófilos en donde crece una planta con hojas rígidas y espinosas —conocida como sotol—, y dunas de yeso, blancas a más no poder, con especies tolerantes a este material (véase un ejemplo en *Hecho en casa: nada tiene sentido en la genética de poblaciones si no es a la luz de la ecología* en *Oikos=* 6). También hay hermosas pozas y lagunas de aguas cristalinas, que son parte de sistemas acuáticos que interrumpen la aridez y son determinantes para la vida en el valle. Las altas montañas, que albergan bosques templados poblados por animales como pumas, venados y osos negros, también son una parte muy importante de este sistema.

### El agua en Cuatrociénegas

Los sistemas hidrológicos característicos de Cuatrociénegas son complejos e involucran el flujo subterráneo y la presencia de cuerpos superficiales de agua como pozas, manantiales, arroyos (como el río Churince), un río (Mezquites) y dos lagunas terminales o de desecación (Playitas y Laguna Grande o del Churince). Estos singulares cuerpos de agua, ricos en sales pero muy pobres en fósforo, han sido una parte determinante de la historia física y biológica del valle y de las zonas circundantes, así como de la de los



Cuatrociénegas alberga una gran diversidad de ecosistemas, por ejemplo: a) zona de sotol (*Dasylirion* sp.), b) dunas de yeso y c) vegetación acuática y ribereña. Fotografías: C. Equihua.

asentamientos humanos. Algunos manantiales y pozas, como La Becerra, tienen siempre temperaturas relativamente altas, tanto en el verano, cuando la temperatura del aire llega a 50 °C, como en el crudo invierno, cuando la temperatura del aire puede ser de 0 °C. Estos cuerpos de agua no dependen únicamente de la lluvia, sino que son alimentados por aguas subterráneas profundas que regulan y soportan muchas de las funciones ecosistémicas y afectan el funcionamiento ecológico integral del valle. Adicionalmente, en estos cuerpos de agua se encuentran estromatolitos, que son comunidades de bacterias que aparecieron en la tierra hace unos

3,500 millones de años (véase *Hecho en casa: investigaciones de frontera. ¿qué son los estromatolitos?* en *Oikos*= 2). La mayoría de los estromatolitos que conocemos son fósiles, pero unos cuantos todavía se siguen formando en algunos lugares de nuestro planeta que podrían tener condiciones semejantes a aquéllas en las que la vida se inició. Por esta razón, muchas instancias, como la NASA y varias dependencias de nuestra universidad, han estado involucradas en estudiar y preservar a Cuatrociénegas.

Dado que el Chihuahuense es el más árido de nuestros desiertos, es evidente que la presencia de agua en este sitio es de gran relevancia. Eso lo perciben las especies migratorias que pasan por ahí, como las mariposas monarca y varias aves migratorias. No es difícil imaginar lo bien que les cae a estos animales encontrar agua y refugio cuando están cruzando el desierto en su viaje hacia el sur.

El valle de Cuatrociénegas alberga también alrededor de 70 especies de plantas y animales endémicos, es decir, especies que no habitan en ningún otro lugar del planeta. Todas estas características se sumaron para que este sitio fuera declarado Área Natural Protegida en la categoría de Área Especial de Protección de Flora y Fauna, el 7 de noviembre de 1994.

### ¡Vivir en el agua, vivir en el desierto!

En Cuatrociénegas se encuentran tanto plantas acuáticas, que viven en los cuerpos de agua, como hidrófilas, que requieren mucha agua y que al establecerse en sus bordes marcan el paisaje, lo que hace fácilmente distinguible la presencia de agua con sólo detectarlas a lo lejos. Estas plantas crecen en zonas frecuentemente inundadas. Sus raíces se encuentran en condiciones muy húmedas, pobres en oxígeno y con alta salinidad, mientras que sus hojas y tallos están expuestos a temperaturas extremas, intensa irradiación solar y fuertes vientos. Esto explica que sean pocas las especies que aquí habitan, a pesar de contar con la presencia de agua en medio del desierto.

### Pero... el drama de la alfalfa en el desierto

La vida en los desiertos sigue puntualmente al agua. La subsistencia humana en estas zonas es difícil, lo que ha llevado a la búsqueda de actividades que puedan resultar económicamente redituables. La región de Cuatrociénegas no es una excepción y la presencia de los cuerpos superficiales y subterráneos de agua permitió durante muchos años el desarrollo próspero del municipio denominado Cuatrociénegas de Carranza.

Sin embargo, las malas prácticas ambientales en el manejo del agua, como la construcción de canales abiertos —en los que la evaporación de agua es muy alta— y el uso de técnicas ineficientes de riego, han puesto en riesgo al valle de Cuatrociénegas y sus maravillas naturales. Desde hace años se emplean grandes cantidades de agua para producir alfalfa, que se ha convertido en el único cultivo comercialmente atractivo gracias a la alta demanda de grandes compañías lecheras, que la usan para alimentar a sus vacas. La introducción de la alfalfa en la región de Cuatrociénegas





El sistema Churince al poniente del valle de Cuatrociénegas, Coahuila. El origen del agua es subterráneo y sale a la superficie en la poza Churince, para terminar en la laguna Churince. Sus partes se conectan por el río Churince. Imagen elaborada por: Sirako Islas sobre una imagen de *GoogleMaps*.

se explica tanto por su tolerancia a la salinidad como porque se cree que hay agua suficiente para regarla, a pesar de lo limitante que ésta es para la vida del desierto. Cuando se trata de dinero, nadie se pregunta sobre el origen del agua ni si acaso es un recurso limitado.

La producción de alfalfa en un desierto como el de Cuatrociénegas tiene un impacto ecológico muy negativo, pues para establecer los cultivos es necesario arrasar con la vegetación original, con la consecuente eliminación de la cobertura vegetal, la pérdida de especies y la alteración del suelo (el riego de la alfalfa consiste en anegar el suelo, algo que no sucede en ningún desierto del mundo). Por si fuera poco, esto se ha hecho frecuentemente de forma ilegal, sin las autorizaciones requeridas por la legislación ambiental.

El resultado de la producción de alfalfa en este desierto es que toda el agua subterránea de la región está sobreexplotada y, consecuentemente, los sistemas hidrológicos del valle de Cuatrociénegas están profundamente perturbados, al grado de que unos ya se han secado y otros se encuentran en un rápido proceso de desecación. La precipitación infiltrada por las montañas hasta la parte baja de la cuenca no alcanza para recargar el acuífero de Cuatrociénegas con los 200 mm de agua que llueven al año en la zona, lo que recalca la importancia de los sistemas de agua subterránea para el mantenimiento del equilibrio hídrico.

### **El dramático y triste ocaso del bello Churince y la desalmada explotación del agua**

Uno de los sistemas hidrológicos más afectados por la sobreexplotación del agua del valle de Cuatrociénegas es el sistema acuático del Churince, que se está secando a gran velocidad, debido a que

al perderse la fuerza del flujo del manantial que nutre al sistema, ubicado en la poza Churince, el agua del río dejó de llegar a la laguna y ésta se secó. El proceso continúa, y causa la pérdida progresiva del sistema de la parte terminal (Laguna Churince) hacia la inicial (poza Churince). La desecación ya alcanzó a la Laguna Intermedia y ha causado ya la muerte de estromatolitos, peces, tortugas y caracoles, incluyendo a los endémicos.

Adicionalmente, las plantas ribereñas del sistema Churince han desaparecido de los bordes de las lagunas y el río. Si el teléfono celular volviera a sonar hoy, de nuevo no nos creerían nada y nos dirían que no es posible que se haya hecho un daño tan grande en tan poco tiempo. Tristemente, esta vez también estarían equivocados.

En el lado sur del arroyo, donde se encuentra una planicie que estaba ocupada por uno de los pastos que en la región es llamado “zacate salado” (*Distichlis spicata*), se ha filtrado el agua del río a nivel sub-superficial. Como resultado, los suelos han perdido cohesión y se han formado alrededor de 200 hundimientos, que son conocidos localmente como “abras”. La planicie que se extendía desde la ribera del río quedó llena de agujeros, como un gran trozo de queso gruyere de cerca de 500 m<sup>2</sup>.

Mientras hubo algo de agua en el arroyo río Churince —hasta fines de 2011—, muchas de las abras tenían agua en el

#### **¿Qué son las abras?**

Los suelos de las zonas áridas y semiáridas tienen baja cohesión, es decir, las partículas que las forman son poco “pegajosas” entre sí. Las partículas de estos suelos se despegan unas de otras cuando hay flujo de agua apenas por abajo del suelo o a un nivel más profundo, con lo que se forman pequeñas grietas o incluso hundimientos (socavones) temporales o permanentes, que se conocen como “abras”. Es un proceso equivalente al que origina, a una escala mayor, a los cenotes de la península de Yucatán. La formación de abras es común en las zonas áridas y semiáridas, pero cuando por un disturbio el agua fluye sub-superficialmente, se presenta la formación atípica, casi continua, de numerosas abras.

En la parte terminal del sistema hidrológico Churince, en Cuatrociénegas, Coahuila, alrededor de 2003 las abras empezaron a formarse más rápidamente y en mayor número (se han registrado cerca de 250 desde 2008) que lo normal. La superficie y la profundidad de las abras son muy variables, y pueden o no tener agua en el fondo. Cada abra es única, aunque algunas se parecen en ciertos aspectos. Muchas se han cerrado, sobre todo a partir de 2012, pues el suelo que mueve el viento se acumula y las rellena al ya no haber agua en el fondo.

fondo, aunque el nivel variara estacionalmente. Así, en medio de una planicie con un pastizal ralo, aparecieron unos microambientes relativamente bien delimitados, en los que había agua —o cuando menos humedad— y sombra, con los cambios de temperatura amortiguados. Las abras ofrecen, de cierta manera, las condiciones que las plantas ribereñas requieren, por lo que son colonizadas por las mismas especies que se establecen en las riberas en condiciones normales. Para muchas de estas especies las abras representan un verdadero refugio, dado que su hábitat original desaparece al perderse el agua del río. Ahí germinan y se establecen, y forman manchones de plantas que se distinguen a simple vista desde lejos.

Durante 10 años, hemos documentado la formación de las abras y su dinámica, es decir, cuántos de los hundimientos formados permanecían abiertos, cuántos nuevos se formaban y cuántos se cerraban y, de éstos, cuántos se podían volver a abrir. A través de registros periódicos, pudimos constatar que el conjunto



Nótese la diversidad de formas de plantas que las van colonizando, abras en la parte terminal del sistema Churince. Nótese la diversidad de formas de plantas que las van colonizando, que incluyen hierbas postradas, erectas y arbustivas. Fotografías del proyecto *Dinámica de abras y colonización de ambientes gípsicos*.

### La colonización de las abras

Varias especies de plantas colonizan las abras alrededor del sistema acuático Churince en Cuatrociénegas al poco tiempo de su apertura. Las especies y su cantidad o abundancia, así como el porcentaje de abras en el que aparecen, cambian con el tiempo, porque las condiciones físicas y biológicas de las abras se modifican. Es frecuente que primero se establezcan algunas especies que necesitan mucha agua, como *Samolus ebracteatus* var. *coahuilensis*, que germina rápidamente, y *Schoenus nigricans*, que es más lenta para germinar. Estas dos especies se encontraban inicialmente en casi todas las abras del Churince, pero a partir de que el arroyo se secó y las abras perdieron el agua, la primera es cada vez menos frecuente y ya casi no hay individuos de la segunda.

*Flaveria chlorifolia*, una planta frecuente desde que las abras se han formado, se fue haciendo más común en el Churince, y está colonizando también el lecho seco de la laguna y del arroyo. Esta especie, que también puede germinar rápidamente, destaca entre las otras por su tolerancia al yeso del suelo.

Así, algunas especies de plantas menos abundantes han desaparecido de la zona, mientras que otras especies antes escasas —como algunos pastos— son ahora más comunes.

de abras es muy dinámico, porque se forman abras nuevas pero también se cierran otras preexistentes, además de que unas crecen o se hacen cada vez más profundas, mientras que otras disminuyen en tamaño y profundidad, a veces hasta el punto de cerrarse para siempre. También registramos qué plantas colonizaban estos hundimientos y cuántas y cuáles se establecían en ellas. De esta manera, pudimos registrar el recambio de especies en estos ambientes casi discretos y fácilmente distinguibles no sólo por ser depresiones en el suelo sino porque en ellos se formaban manchones de especies que antes sólo se encontraban en la ribera de los cuerpos de agua. Así, resultó evidente que, conforme el arroyo perdía agua y ésta fluía a nivel sub-superficial, las abras se formaban rápidamente y se llenaban de plantas de diferentes especies, pero todas demandantes de agua.

Al secarse el arroyo, el flujo de agua se detuvo, y las abras se fueron perdiendo, de modo que las especies que en ellas se habían instalado cuando tenían agua en el fondo se fueron muriendo y otras especies menos hidrófilas las fueron sustituyendo. Conforme el arroyo fue perdiendo agua, las abras también y, poco a poco, su humedad. Si la presencia de abras con agua era una noticia muy mala, el hecho de que ya no haya agua en ellas es mucho peor, pues se debe a que esta parte del arroyo ya se secó. A lo largo del tiempo se han abierto muchas abras, pero también muchas se han cerrado por la posterior acumulación de partículas del suelo



Río Churince seco en 2009.

Aún se aprecia el rastro del correr del agua, en camino a la desecación y a la degradación del ecosistema original que se observan actualmente. Fotografías del proyecto *Dinámica de abras y colonización de ambientes gípsicos*.

que los vientos arrastran y depositan en ellas. Cuando las abras ya están secas, la arena se acumula hasta cerrarlas, aunque donde había un abra permanece la vegetación ribereña por un tiempo. Al no haber agua fluyendo por debajo de la superficie del suelo, las abras dejan paulatinamente de formarse, y es de esperarse que con el tiempo muchas se cierren y la vegetación ribereña que se estableció en ellas desaparezca.

La aparición rápida de numerosas abras debe considerarse como una alarma temprana de un comportamiento anómalo del agua. El hecho de que las plantas hidrófilas, que necesitan mucha agua, se encuentren en las abras y algunas incluso en la planicie, indica que ahora hay agua donde antes no la había. Estas plantas llegan ahí a través de la dispersión de sus pequeñas semillas. En el remoto caso de que el sistema Churince lograra recuperarse, las plantas podrían recolonizar las riberas desde las abras pues los sistemas naturales tienen una cierta resiliencia, es decir, pueden volver a su estado inicial —o en su defecto a uno intermedio— después de un disturbio natural o antropogénico. Para que esto suceda, el sistema hídrico subterráneo debe recuperarse, y para ello se necesita dejar de explotar el acuífero de la forma en que se



Especies demandantes de agua frecuentes en humedales del desierto: a) *Samolus ebracteatus* var *coahuilensis*, y b) *Schoenus nigricans* creciendo en la parte final del Sistema Churince, en el valle de Cuatrociénegas, Coahuila. Estas especies son cada vez menos abundantes por la desecación del sistema.

Imagen del proyecto *Dinámica de abras y colonización de ambientes gípsicos*.

ha hecho hasta ahora. Desde luego, tiene que haber condiciones específicas, que inician con que se recupere el agua, para recuperar los ecosistemas de esta parte del valle de Cuatrociénegas. En el sistema Churince, todo parece indicar que la resiliencia requiere de inteligencia y paciencia para se pueda recuperar un sistema extraordinario y de gran importancia.

### ¿No habrá final feliz?

En el desierto no hay un sistema de recuperación real del agua, porque la evaporación es mayor que la precipitación. En pocas palabras, no hay vuelta de hoja. El agua de los manantiales de Cuatrociénegas es mayoritariamente fósil, es un legado de un pasado más húmedo. Si se extrae esta agua, se ha perdido para siempre para este ecosistema.

El agua de Cuatrociénegas ya no alcanza para el riego de un número creciente de campos de alfalfa, y su uso no sustentable lleva a su pérdida irreversible, lo que tiene un elevado costo que perjudica a los ecosistemas y a las personas que habitan en la región. Es decir, no hay ganador: todo mundo pierde.

A nivel regional, la falta de estrategias sustentables ha implicado que los habitantes tengan un acceso cada vez más limitado al agua. La pérdida del agua y de los servicios ecosistémicos ya afecta a los pobladores que conocieron la riqueza de la zona y que hoy ven cómo se va perdiendo a grandes pasos.

Desafortunadamente, la pobreza es omnipresente y el espejismo de la generación de empleos agrícolas ha contribuido a generar este desastre. La pérdida de agua promete que las condiciones ecológicas y sociales en la región se degradarán rápida y notablemente debido a que los intereses económicos puntuales y a corto plazo han tenido más peso que la visión al futuro de toda una región. Para que hubiera un final feliz es imprescindible dejar de regalarle el agua a la alfalfa y devolvérsela al valle. Si le dijéramos esto a alguien preocupado que nos llamara por teléfono, esta vez ya no dudaría en creernos.



*Flaveria chlorifolia* creciendo en el Sistema Churince, en el valle de Cuatrociénegas, Coahuila. Esta especie, que requiere menos agua y tolera mejor el yeso, es ahora más frecuente en las abras y empieza a colonizar los lechos secos de la Laguna Churince y del río del mismo nombre.

Imagen del proyecto *Dinámica de abras y colonización de ambientes gípsicos*.



### Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM (PAPIIT IN216915 e IN231822). Agradecemos el apoyo de la Dirección del Área Natural Protegida de Cuatrociénegas (CONANP) y de la Facultad de Ciencias, UNAM, así como de todos quienes han participado en el trabajo de campo.

**Irene Pisanty Baruch** es bióloga y maestra en Ciencias de la Facultad de Ciencias, UNAM. Actualmente es Profesora Asociada de Tiempo Completo y miembro del Grupo de Ecología de Poblaciones de la Facultad de Ciencias. Sus intereses abarcan la ecología de poblaciones, la dinámica de la vegetación en ambientes extremos y la conservación y gestión de los recursos naturales.

**María del Carmen Mandujano Sánchez** es bióloga de la Universidad Autónoma Metropolitana y Doctora por la UNAM. Investigadora titular del Departamento de Ecología de la Biodiversidad del Instituto de Ecología de la UNAM. Su investigación se centra en la ecología de poblaciones y la biología floral de especies de zonas áridas, en peligro o invasoras.

**Mariana Rodríguez Sánchez** es bióloga y maestra en Ciencias de la Facultad de Ciencias, UNAM. Actualmente estudiante de doctorado del Posgrado en Ciencias Biológicas. Su trabajo se centra en el estudio de poblaciones y comunidades vegetales en ambientes áridos, con particular interés en la vegetación gipsófila. Es parte del Grupo de Ecología de Poblaciones de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

**Cynthia Peralta García** es bióloga egresada de la Facultad de Ciencias y alumna de maestría del Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. Sus intereses abarcan la germinación y establecimiento de especies vegetales gipsófilas en zonas áridas, y su asociación a la dinámica de las comunidades en dichas zonas. Es parte del Grupo de Ecología de Poblaciones de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

### Para saber más

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 48. *Cuatro Ciénegas*. Consultado el 17 de octubre de 2017 en: <https://bit.ly/3qO3bO7>
- Pisanty I., Pérez y Sosa, M.C. y Gálvez, G. (2013). *Agriculture, Water Mismanagement and Ecosystem Transformations in the Cuatrociénegas Valley in the Chihuahuan Desert, Mexico*. In: Schwabe K, Albaic J, Connor JD, Hassan RM, Meza L (eds) *Drought in Arid and Semi-Arid Regions, A multi-Disciplinary and Cross-Country Perspective*. Springer, Holland, pp 199-216.
- Pisanty I, y Rodríguez-Sánchez M. (2017) *Amenazas a la biodiversidad en Cuatro Ciénegas*. En *La biodiversidad de Coahuila. Estudio de Estado*. Vol. I CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, México, pp 485-498.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1999). *Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas, México*. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México.
- Souza, V., Escalante A.E., Espinoza L., Valera A., Cruz A., Eguiarte E., Pichel F.G., Elser J. (2004). Cuatro Ciénegas un laboratorio natural de astrobiología. *Revista Ciencias* 75: 4-12.

## Preguntas ecológicas obvias... pero no tan obvias

Jorge Soberón

Hay montones de preguntas con respuestas que parecen tan obvias que preguntarlas parece una simpleza, una tontería o, en unos casos, da la impresión de que uno es ideológicamente *impuro*. En mi experiencia, muchas de estas preguntas obvias, cuyas respuestas se dan por sentado, pueden ser interesantes y difíciles si se analizan con cuidado. Algunas se consideran de respuesta obvia debido a prejuicios ideológicos o políticos, o solo porque ya estamos acostumbrados a creer algo. También me parece que para responderlas muchas veces uno tiene que salir de la zona en la que es experto. Arriesgarse, leer lo que piensan los abogados o los filósofos... poner en duda ideas que se dan por sentadas nunca es fácil.

En mi caso, cuando trato de responder estas preguntas supuestamente obvias generalmente empiezo tratando de desmenuzarlas. Hago de abogado del diablo y busco argumentos contrarios a lo obvio. Para la mayor parte de mis preguntas obvias aún no tengo respuesta, pero reflexionar sobre estos temas me ha servido mucho; por ejemplo, para desarrollar una mayor capacidad de análisis o para poder apreciar distintos puntos de vista.

Utilizo este espacio para divagar un poco sobre algunas de estas preguntas que me han preocupado por años y voy a empezar con la cuestión, de mucha relevancia actual, de si la ciencia —la ecología en particular— debe enfocarse a la solución de “problemas sociales urgentes” o “áreas prioritarias” (AP). Saqué el término AP de la iniciativa de la propuesta de la nueva ley de ciencias, donde implícitamente la respuesta es que sí, que el aparato científico nacional debe orientarse a priorizar ciertas áreas. Esta iniciativa fue presentada ante el pleno de la Cámara de Diputados.

Para muchísimas personas, la respuesta evidente, apodíctica, es que obviamente la ciencia mexicana debe orientarse a las AP. En México, la sociedad mantiene a la ciencia —más propiamente, a los científicos y a sus instituciones, que son los agentes de “la ciencia”—, así que algo debería recibir a cambio. Pero como en todas estas preguntas obvias, para esta en realidad hay ciertas complicaciones y ángulos no tan evidentes.

### El papel de los científicos y los grandes problemas nacionales

Primero, uno debe preguntarse si los científicos en general son realmente los encargados de resolver los problemas nacionales, y la respuesta, me parece a mí, es que no es ni remotamente obvio que así sea. En realidad, si pensamos un poco, queda claro que los

grandes problemas nacionales tienen fundamentalmente componentes sociales, históricos, políticos o económicos. Contar con información científica confiable, con datos, con instituciones con capacidades analíticas y técnicas puede asistir a los agentes sociales en la solución de dichos problemas, pero no es el aparato científico *per se* quien los puede resolver. Son muchas las probabilidades de que la vaquita marina se extinga, pero no porque los científicos no hayamos aportado hasta la saciedad datos sobre ella, como estimaciones del tamaño de su población, propuestas para atrapar sus poblaciones y mantenerlas en cautiverio, información sobre su salud genética, etcétera. O sobre Cuatro Ciénegas, un caso en que para los científicos es evidente que es un ecosistema que se está secando, no porque no sepamos nada sobre su valor científico; al contrario, tenemos mucha información ya de años. En la década de los setenta, se deforestó Uxpanapa, en el estado de Veracruz, a pesar de que los científicos advirtieron del desastre ecológico que iba a resultar. Y así puedo citar una larga lista de ejemplos en la historia reciente de México... Lo que permite enfrentar problemas prioritarios exitosamente es una gobernanza —la combinación de leyes, instituciones y procesos sociales— sólida, equilibrada y madura. La existencia de un sistema científico consolidado, junto con la cultura científica asociada, son solamente una parte, aunque esencial, de esta gobernanza.

### La definición de problema nacional

En segundo lugar, está el asunto de quién define cuáles son las AP. Usualmente, las personas o grupos que están en el poder definen a qué le van a asignar recursos en un momento dado, muchas veces sin demasiado foco, y sin consultar. Pero incluso si quien está en el poder decidiera realizar una consulta, ¿nos pondríamos de acuerdo, ya no digamos sobre las prioridades de una lista, sino incluso sobre sus temas? La idea de *problemas* implica una valoración, que siempre es social. Para un biólogo, la desaparición de los bosques mesófilos no sólo es un problema, es un desastre de proporciones históricas, pero para los ganaderos puede ser una oportunidad maravillosa. *El agua* es una AP clásica, pero... ¿qué significa?: ¿sacar más agua?, ¿privatizarla?, ¿limpiarla?, ¿reciclarla?, ¿entubarla y moverla a grandes distancias? Otra AP, es *la energía*, pero el tema tiene que ver con el ¿petróleo?, ¿el viento?, ¿la solar?, ¿la biomasa? o ¿la hídrica? Cada alternativa tiene pros y contras y opositores y promotores, que son externos a los problemas pura-

mente científicos. La definición de AP depende de axiologías no necesariamente compartidas. Así, la definición misma de AP no es un simple asunto para que unos científicos decidan en abstracto. Esta decisión generalmente acaba por ser tomada por algún sector en el poder y, como muestra la historia, este sector tiende a imponer una ortodoxia. Las sociedades gobernadas por ortodoxias siempre acaban anquilosadas e inflexibles.

### Los grandes problemas y el papel de los científicos

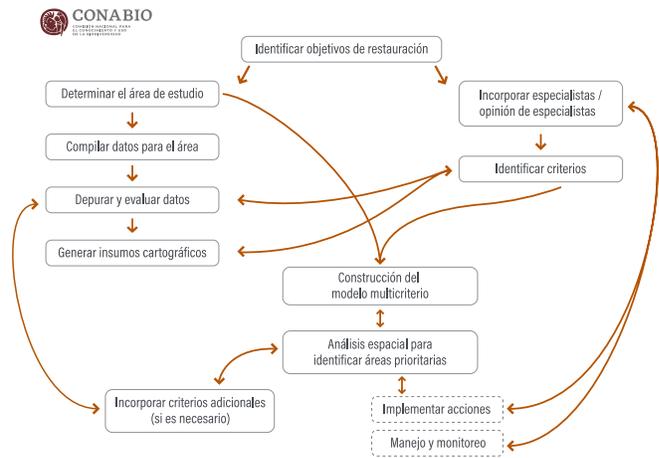
En tercer lugar, está la pregunta de porqué nos deben interesar solamente las *prioridades nacionales*. ¿Acaso los problemas estatales o municipales no importan? El suponer que solamente la escala nacional importa es algo tremendamente cuestionable. Por ejemplo, considerando sólo prioridades internacionales, las grandes organizaciones no gubernamentales (ONG) ambientales cometieron el mismo error porque decidieron que solamente había que invertir recursos en los *hotspots* de biodiversidad de importancia para la biodiversidad a escala global, ignorando las prioridades nacionales. El resultado fue que muchos de esos *hotspots* nunca pasaron a considerarse prioritarios para países particulares. Me parece que el sistema científico de un país del tamaño y complejidad de México debe poder responder a necesidades de una multiplicidad de actores, privados, públicos y sociales, a escalas locales, municipales, estatales y ciertamente nacionales; pero establecer como privilegiados a una escala o a un sector vuelve a ser un problema de cuál actor o escala pesa más, o cuál tiene más poder. Me parece que es preferible errar por el lado de la flexibilidad y la variedad, que por el lado del centralismo.

Finalmente, existe una falsa dicotomía en el énfasis que se le da a atacar estas llamadas áreas prioritarias nacionales. En primer lugar, establecerlas sugiere que no se les había tomado en cuenta en el pasado, lo cual bien pudiera ser falso. Y en segundo lugar, si los científicos de un país no enfrentan explícitamente ciertas AP, ¿eso significa que estos científicos son inútiles?, o peor aún, ¿que son unos parásitos de nuestro país y sus recursos? ¡Es asombroso constatar cuánta gente piensa eso! Muchos científicos estudian cosas ininteligibles para el lego, como la ecología de poblaciones de *Callophrys xami* alimentándose de *Echeveria gibbiflora*, o que la conjetura que las soluciones de la función Zeta de Riemann tiene parte real =  $\frac{1}{2}$ , o las redes de control en la embriogénesis de *Arabidopsis thaliana*. ¿Por eso se concluye entonces que nuestro trabajo es irrelevante socialmente? ¡Pues no! Creo que este es el principal elemento de duda. ¿Para qué le sirve a México tener un aparato científico, aún incipiente sin duda, pero extenso geo-

#### Un hotspot de biodiversidad es...

Una región con al menos 1,500 especies de plantas vasculares endémicas y debe tener 30% o menos de su vegetación original. En pocas palabras, un hotspot es irremplazable.

Texto original de: *Conservation International*.



Esquema metodológico presentada por W. Tobón, *et al.* en 2016 para identificar prioridades de restauración en México. Imagen de [www.biodiversidad.gob.mx](http://www.biodiversidad.gob.mx) (<http://bit.ly/3XEylWo>)

gráfica y disciplinariamente, y relativamente muy barato (menos del 1% del PIB nacional: \$15.00 al mes por ciudadano)? La respuesta, desde mi punto de vista, es bastante polifacética y compleja. Que existan individuos dedicados a la ciencia e instituciones científicas significa que se fortalece una cultura racional, secular y nacional. Sin miles de personas que hayan sido capacitadas en ciencia, ¿quien escribiría las columnas de ciencia de los periódicos? Tampoco habría un mastozoólogo serio que refute tarugadas como las declaraciones de un *experto* en el chupacabras. Ni tendríamos expertos que puedan explicar las razones por las cuales la *medicina cuántica* es una charlatanería que sólo engaña a quien la consume, o que refuten el creacionismo, o taxónomos capaces de mandar una opinión a la Cámara de Diputados para explicar la importancia del uso de los nombres científicos y oponerse a la propuesta de ley del Partido Verde que prohíba el uso de los nombres científicos (algo que ocurrió ya en el pasado). También sería imposible que haya quien, después de un terremoto, sea capaz de organizar bases de datos de damnificados. Y son científicos (una botánica y un mastozoólogo) los que representan dignamente a México ante la CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) cuando se necesita de especialistas que entiendan el problema del tráfico de especies para que participen en las distintas conferencias de las partes (abreviado siempre COP con el número del evento)... En fin, el trabajo e influencia de nuestros científicos permea miles y miles de actividades diarias sin que la mayoría de la sociedad se dé cuenta.

Sin los científicos y su labor cotidiana no funcionarían ni las aduanas, ni los sistemas de detección de sismos, ni se atenderían problemas epidemiológicos como la crisis de influenza de 2009; tampoco funcionarían los hospitales públicos, ni los sistemas meteorológicos, ni la petroquímica, ni estaríamos buscando energías alternativas, ni habría quien hiciera una planeación te-

ritorial. Instituciones como el INEGI, la CONANP o la CONABIO no existirían, por lo que no sabríamos ni cuántos habitantes tiene México ni nada de nuestro capital natural. Tampoco estaríamos enterados de la reintroducción de lobos, ni de perros de las praderas, ni se estaría buscando la protección de murciélagos polinizadores de agaves, estos últimos de los mayores generadores de divisas para nuestro país por la venta de mezcales y tequila. Me puedo seguir por páginas enteras con ejemplos.

La existencia de un aparato científico —que incluye personas, instituciones, publicaciones, infraestructura, leyes— consolidado, activo y eficiente, es un *sine qua non* de una sociedad moderna. Esto tiene muy poco que ver con la solución de problemas prioritarios y es afectado negativamente por intentos centralizadores. Una ciencia pagada socialmente, y en México la ciencia está pagada casi al 100% por recursos fiscales, debe responder a una gran variedad de necesidades de la sociedad en su conjunto, del sector privado, social y público, y desde los ámbitos más locales hasta las grandes iniciativas internacionales. Me atrevo a sugerir que un país debe apostarle a un aparato científico disperso y diversificado, más que a uno centralizado y focalizado en AP definidas burocráticamente que, además, corren el riesgo de cambiar cada seis años, eliminando la posibilidad de consolidar un aparato científico que tenga el impacto que nuestro país requiere.

De lo anterior no se desprende de ninguna manera que las instituciones científicas deban ser dispendiosas, caprichosas o estar al servicio de los intereses de un solo grupo, interno u externo. Pero la propia tradición científica de autoevaluación a múltiples niveles, desde los internos a un instituto, a una universidad, o a un sistema, hasta los internacionales, estimulan (nunca garantizan) una comunidad activa y autocrítica.

¿Falta mucho por hacer? ¡Sin duda alguna!, especialmente en un país como México. Pero espero haber mostrado que la idea de que los científicos solamente se deben concentrar en atacar los grandes problemas nacionales tiene bastantes ángulos y no puede ser respondida afirmativamente sin antes aclarar una variedad de complicaciones. Organizar la ciencia solo en torno a AP corre los riesgos de burocratizarla, de formar grupos de poder, de excluir trabajo novedoso, de ignorar nuevos e inesperados retos, y de ahogar iniciativas locales que no por ser de menor envergadura son menos importantes. Ahora, indudablemente es posible definir prioridades. ¿Cómo orientamos a los agentes de la ciencia a atacar las partes técnicas o propiamente científicas de esas prioridades? Yo tengo una experiencia al respecto en México (aunque he visto otras en el mundo). En 1992 la CONABIO había identificado una cierta Prioridad Nacional: la falta de datos organizados y accesibles sobre la biodiversidad de México, pero no tenía la capacidad de ordenarle a todo México que se pusiera a resolver el problema. ¿Qué se hizo? Sacar convocatorias relativamente acotadas y con recursos moderados dirigidas a esta prioridad, y los científicos decidían libremente si participaban o no (y efectivamente, algunos investigadores importantes decidieron nunca participar). Posteriormente, la propia CONABIO pasó a jugar un papel de *punteo* o de *traductora* entre los científicos con sus abstrusos resultados, ya

organizados en bases de datos o en sistemas de información geográfica, y los actores públicos, sociales y a veces hasta privados que necesitaban usar esos resultados.

Entonces, si me preguntan a mí si los ecólogos de México deben de participar en la solución de AP, mi respuesta es ¡sí, claro! Pero los ecólogos y los científicos en general también deben investigar muchos otros tipos de problemas, y ciertamente no los vamos a *resolver*, pero podemos proporcionar —y lo hemos estado haciendo por décadas y décadas— valiosas experiencias, métodos, resultados y teorías para que otros actores sociales trabajen con buena información. Cada vez más los actores del sistema científico se autorganizan, participan en grupos multidisciplinarios, aprenden a colaborar con actores sociales diversos... esto ya pasa por todo el país, sin necesidad de que una burocracia central lo imponga.

Lo que hace falta es que nos quiten de encima la carga administrativa agobiante, ¡no que la centralicen! Y finalmente, y especialmente en México, prácticamente todo egresado de una carrera científica desea poder participar en ayudar a su país. Haría falta quitarle estorbos a todo esto, más que querer organizarlo y decidirlo desde el centro. A estas alturas, ¿qué no sabemos cómo funcionan las burocracias en México?

**Jorge Soberón Mainero** obtuvo título de biólogo y maestro en Ciencias de la Facultad de Ciencias de la UNAM y es doctor por el Imperial College de Londres. Actualmente es profesor distinguido del Departamento de Ecología y Biología Evolutiva de la Universidad de Kansas, EUA. Su principal interés es documentar y entender los patrones de biodiversidad a gran escala, en particular de las especies terrestres.

### Para saber más

- Eguiarte, L. y J. Soberón. (1989). La ecología de los ecólogos. *Información científica y tecnológica* 11: 21-26.
- Eguiarte L.E. (2005). La ecología de los ecólogos. *Gaceta UNAM*, No. 3,851, 7 de noviembre del 2005, pág. 13.
- Feynman, R. (2010). *¿Qué significa todo eso? Reflexiones de un científico-ciudadano*. Editorial Crítica
- Zimanm, J. (2005). La ciencia y la sociedad civil. *Revista Ciencias* 78: 4-13.

## José Negrete Martínez (Q.E.P.D), un pionero mexicano de la ecología teórica

Jorge Soberón

El 18 de febrero de 2018 falleció el Dr. José Negrete Martínez a los 88 años. Tal vez a pocos ecólogos jóvenes les resultará conocido su nombre, ya que el Dr. Negrete dedicó la última parte de su vida a trabajar en *Inteligencia Artificial* en la Universidad Veracruzana. Por lo tanto, pocos de los investigadores jóvenes tuvieron contacto con él cuando se dedicaba a problemas de ecología teórica. El Dr. Negrete hizo su licenciatura en medicina, y realizó estudios de posgrado en biofísica, sin embargo, durante una parte importante de su carrera como biólogo teórico, mientras trabajaba en el Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, se interesó en problemas ecológicos y epidemiológicos, que son una rama de la ecología aplicada. Me gustaría usar este espacio para recordarlo un poco, mencionar algunos de los problemas que estudió, y rendir así un modesto homenaje a quien fuera un extraordinario profesor y mentor, y un pionero en teorizar sobre problemas ecológicos, que es algo que en nuestro país se sigue haciendo en instituciones como el CIECO, el INECOL, la UNAM y otras.

De 1970 a 1985, aproximadamente, el Dr. Negrete trabajó en varios problemas de ecología teórica, tanto desde una perspectiva de investigación como de docente. El problema principal que le interesaba era el efecto de la estructura espacial de las interacciones biológicas. El método que usó, basado en modelos computacionales, era pionero en su época.

La ecología teórica, como disciplina, nunca ha atraído a muchos estudiantes (ni en México ni en otras partes del mundo), y es válido preguntarse cuántos y quiénes estudian (o han estudiado) ecología teórica en México. La respuesta depende primero de cuál es el campo de estudio de la *ecología teórica*, y segundo, de si las personas en cuestión solamente *declaran* su interés sobre el tema, o si también tienen resultados publicados en las revistas de teoría.

Sin entrar en detalles, no hay ninguna duda que el Dr. Negrete, en primer lugar, estaba interesado en teorizar sobre problemas ecológicos (interacciones bióticas en medios espacialmen-



El Dr. Negrete Martínez presentando el libro *El pensamiento médico contemporáneo*.  
Fuente: Unidad de Servicios Bibliotecarios y de Información de la Universidad Veracruzana, Julio de 2011.

te explícitos) y su interés fue más que declarativo, ya que daba clases, produjo *software* y publicó libros sobre estos temas.

El interés del Dr. Negrete en estos problemas tuvo como resultado, principalmente, dos productos: el libro *Juegos ecológicos y epidemiológicos* que escribió con G. Yankelévich y J. Soberón, publicado por primera vez por el Fondo de Cultura Económica en 1976, y la simulación llamada *Polifemo*, que era conocida entre los estudiantes con el nombre de *Frijolarium* porque para llevarla a cabo se utilizaban frijoles de diferentes características. Esta simulación consistía en ecuaciones deterministas y una simulación estocástica del problema del crecimiento poblacional de una especie o dos especies interactuantes. El *Frijolarium* original fue inventado en la década de 1970 por Luis Bojórquez Castro, por aquel entonces profesor de Fisiología de la Facultad de Ciencias y posteriormente de la Universidad Autónoma de Xochimilco. El *Frijolarium* original era un tablero de ajedrez sobre el cual se arrojaban frijoles de uno o dos colores y se seguían ciertas reglas para determinar qué frijoles morían, eran devorados por otros, eran excluidos competitivamente o se reproducían. Se usaba mucho (en una época en que no existía el lenguaje de programación "R") para dar clases de Ecología de Poblaciones. Pues bien, el Dr. Negrete, colaborando con el matemático Pedro Vit, determinó las ecuaciones generales de cualquier frijolario de dos especies. Bernardo Fenig programó las ecuaciones determinísticas en el ya desaparecido lenguaje Algol, y yo programé la simulación estocástica. Este *Frijolarium* virtual sirvió por años para dar clases de Ecología de Poblaciones en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Lo anterior era un producto de interés esencialmente docente porque, si bien obtener analíticamente las ecuaciones generales para cualquier *Frijolarium* de dos especies es un resultado matemáticamente muy difícil, desafortunadamente estas soluciones nunca se utilizaron para explorar problemas de trascendencia científica más allá de ilustrar, en el salón de clases, casos interesan-

Investigación científica en la que se observan diferentes características de los organismos (morfológicas o moleculares) con el fin de entender las relaciones evolutivas entre especies.

Ver: "*Understanding Evolution*" <https://bit.ly/3UnF5r1>

tes pero elementales, de la ecología de poblaciones.

Sin embargo, en el libro *Juegos ecológicos y epidemiológicos* el Dr. Negrete se inspiró en la idea básica del *Frijolarium*, que era la de simular una interacción poblacional en un tablero con estructura física, para estudiar problemas epidemiológicos con estructura espacial explícita. En este libro exploró así una serie de problemas tipo SRI (Susceptible, Recuperado, Infeccioso) que se desarrollaban en una arena computacional donde los parámetros de la simulación variaban con las posiciones en el espacio. En la década de 1970, un modelo de esta clase era muy innovador, por lo que estaba completamente en la frontera del conocimiento. Casi toda la epidemiología teórica se basaba en las ecuaciones de Ross o de MacDonald, que eran a-espaciales, es decir, que ocurrían en una sola localidad sin dimensión geográfica. Los estudios pioneros de la teoría de la ecología de poblaciones con estructura espacial fueron los de Fisher y Kolmogorov, en los años 30, y luego con Skellam, en la década de 1950, pero no fue sino hasta la década de los 80 que Okubo, Levins, Tilman, Kareiva, Chesson, Tujarpurkar y otros famosos ecólogos teóricos retomaron el muy difícil problema de la modelación de interacciones ecológicas en un ambiente explícitamente espacial [puedes ver un video que ilustra un sistema depredador-presa (Lotka-Volterra)]. Analíticamente, este es un problema realmente difícil y no es aventurado decir que, en realidad, imposible en cualquier caso realista. Es por la vía de simulaciones por computadora que se pueden obte-



Computadora Burroughs B-6700 del Centro de Servicios de Cómputo para la Administración. Fuente: Galería de Imágenes del Acervo Histórico de Cómputo en la UNAM. DGTIC, UNAM.

ner resultados interesantes y específicos para casos de importancia práctica, como por ejemplo, la evolución de una epidemia.

En los 70 el Dr. Negrete y Bernardo Fenig ya contaban con *software* para analizar este tipo de problemas, y lo aplicaban al estudio de la epidemiología, por ejemplo, de la tifoidea en México. Desafortunadamente, estos resultados nunca los publicaron en la literatura especializada, ni de ecología ni de epidemiología.

El Dr. Negrete no tuvo muchos alumnos en el campo de la ecología, realmente su principal influencia fue en el campo de la Inteligencia Artificial. Sonia Perezgómez, Guadalupe Espín y yo fuimos, tal vez, sus principales estudiantes. La influencia que el Dr. Negrete (y su entonces esposa, la Dra. Guillermina Yankelévich) tuvo sobre mí fue muy grande. De hecho, fue determinante para mi carrera. El Dr. Negrete, en la época en que todo mundo programaba *mainframes* usando tarjetas perforadas, tenía ya acceso por teletipo al monstruo de *máquina Burroughs* que había en Ciudad Universitaria, en la UNAM. Más aún, obtuvo una de las primeras computadoras de escritorio con pantalla gráfica (una *Tektronix 4050*) que permitía *ver* los resultados de las simulaciones en alta resolución. En este ambiente, un estudiante interesado en aprender a aplicar las tecnologías de cómputo a la ecología (como era mi caso) simplemente estaba en Jauja.

Pero el Dr. Negrete no se quedaba en la parte computacional. También tenía la capacidad para desarrollar los modelos matemáticos usando herramientas muy sofisticadas, y esa combinación de rigor matemático con capacidades computacionales representan el modelo al que he aspirado toda mi vida.

Un ejemplo sería uno de los problemas en los que me permitió colaborar. Se trataba de simular una sinapsis neuronal. Este problema se podía representar realísticamente usando una ecuación estocástica del proceso de nacimiento-muerte. El Dr. Negrete me hizo entender el problema en sus detalles —se trata de un **proceso de Markov** en tiempo continuo. Estos sistemas ahora se usan como modelos canónicos para analizar procesos filogenéticos— y programarlo en *Algol*. Aprendí mucho haciendo esto. Tiempo después, ya en el doctorado en Inglaterra, mis profesores de ecología (líderes mundiales) tuvieron la idea de representar un cierto crecimiento poblacional usando un proceso estocástico de nacimiento-muerte. Y, entre todos sus estudiantes, fue el mexicano, entrenado en la licenciatura por un médico, quien tenía los conocimientos y la experiencia para ayudarles y programar el problema.

El Dr. Negrete siempre fue tremendamente generoso conmigo, me apoyó en todo, me enseñó muchísimo. Durante mi etapa formativa inicial fue mi modelo de científico riguroso, serio, creativo y visionario, capaz de combinar el interés por problemas fundamentales con las aplicaciones prácticas. Valga esta pequeña reseña para expresar mi agradecimiento, y recordarlo, ahora que ya no está con nosotros.

**4051 personal computing:**

**Ask a BASIC question, get a Graphics answer.**

**Compare Tektronix' 4051 to any other compact computing system. There's a Graphic contrast.**

Wide-ranging performance right at your desk. BASIC power. Graphics power. Terminal capability. You've got instant access to answers, all from one neat package.

**Easy-to-learn, enhanced BASIC.** We took elementary, English-like BASIC, and boosted it up for more programming muscle. We've designed it with MATRIX DRAW, features like VIEWPORT,

WINDOW, and ROTATE, to help you get your teeth into Graphics almost instantly.

**There's a Graphic contrast.** The 4051 will handle most application problems. But for your most complex problems, the 4051's Data Communications Interface option can put you on-line to powerful Graphic applications that no stand alone system can tackle.

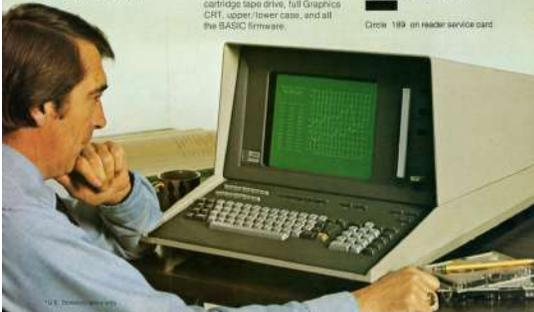
**Just \$6995.\*** Less than most comparable alphaumeric only systems. Including 8K workspace, expandable to 32K, with 300K byte cartridge tape drive, full Graphics CRT, upper/lower case, and all the BASIC firmware.

Talk to Tektronix today! Your local Sales Engineer will fill you in on our 4051 software. Our range of peripherals. Our flexible purchase and lease agreements. And he'll set up a demonstration right on your desk. Call him right now, or write:

Tektronix, Inc.  
Information Display Group  
P. O. Box 500  
Beaverton, Oregon 97077

**TEKTRONIX**

Circle 189 on reader service card



Anuncio del sistema de cómputo gráfico Tektronix 4051 introducido en 1975.  
Fuente: *Wikimedia commons*.

**Jorge Soberón Mainero** obtuvo título de biólogo y maestro en Ciencias de la Facultad de Ciencias de la UNAM y es doctor por el Imperial College de Londres. Actualmente es profesor distinguido del Departamento de Ecología y Biología Evolutiva de la Universidad de Kansas, EUA. Su principal interés es documentar y entender los patrones de biodiversidad a gran escala, en particular de las especies terrestres.

### Para saber más

- Negrete, J., G. Yankelevich y J. Soberón. (1991). Juegos ecológicos y epidemiológicos. *Fondo de Cultura Económica*. México, D.F.
- Negrete, J. (2011). Un paso más hacia la inteligencia aquí y ahora. *Ciencia y Desarrollo*. <https://bit.ly/3qOn8V2>
- Valenzuela, M.J. y A. Cerritos. (2003). Jorge Negrete Martínez. Forjadores de la ciencia en la UNAM. Coordinación de la Investigación Científica, UNAM. <https://bit.ly/3xwwMPZ>