

## Mensaje del presidente de la AMC

José Luis Morán López

3

## Desde el Comité Editorial

Miguel Pérez de la Mora

4

## Novedades científicas

### ¿Qué es la química supramolecular?

Karina Mondragón Vásquez  
Jorge Guillermo Domínguez Chávez  
Francisco Abelardo Cen Pacheco

6

### Seguridad y sustentabilidad alimentarias en México

María José Ibarrola Rivas  
Leopoldo Galicia

14

### El concepto de *especie* en biología

Ernesto Ruelas Inzunza

22

### Distribución de las remesas en Oaxaca

Marco Antonio Espinosa Trujillo  
Luis Mendoza Ramírez  
Elizabeth Ojeda Velasco

30

### Arribazones de macroalgas marinas: un tesoro del mar

Mauricio Gómez Hernández  
Cecilia Mónica Rodríguez García  
Leticia Peraza Echeverría

38

### La conducta paterna en los roedores

Luis Óscar Romero Morales  
Juana Alba Luis Díaz

44

### Carotenoides. ¿Qué son y para qué se usan?

Anayeli Quintana López  
Miguel Ángel Hurtado Oliva  
Crisantema Hernández  
Elena Palacios Mechetnov

50

### Neurobiología del comportamiento alimentario

Ashley Castellanos Jankiewicz

56

### Chocolate: herencia mesoamericana para el mundo

Diego Santiago Alarcón

62

### La mágica tecnología oculta

Darío Armando Weitz

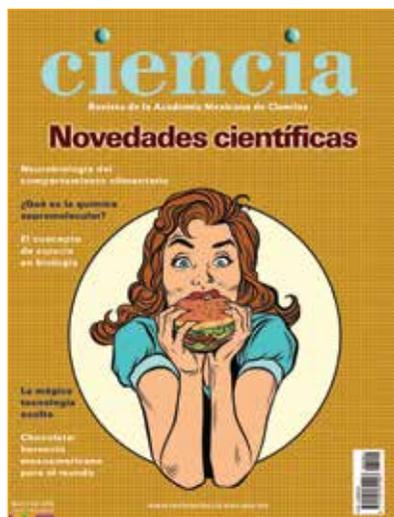
70

### La conservación de la naturaleza

David Brailovsky Signoret

78





Portada: Shutterstock.



Separador:  
Shutterstock.

# ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias  
octubre-diciembre 2018 volumen 69 número 4

## Director fundador

Ignacio Bolívar Urrutia (1850-1944)

## Director

Miguel Ángel Pérez de la Mora

## Comité editorial

Raúl Ávila  
Beatriz Barba Ahuatzin  
Luis Benítez Bribiesca †  
Ana Cecilia Noguez G.  
Raymundo Cea  
Deborah Dultzin  
Alfredo Feria Velasco †  
Alonso Fernández Guasti  
Ronald Ferrera  
Gerardo Gamba Ayala  
Alfonso N. García Aldrete  
Adolfo Guzmán  
Juan Pedro Laclette San Román  
Román Piña Chan †  
Carlos Prieto de Castro  
Sergio Sánchez Esquivel  
Alicia Ziccardi

## Coordinadora editorial

Martha Lorena Soria Licona

## Editora

Rosanela Álvarez

## Revisor de estilo

Paula Buzo

## Social Media

José Eduardo González Reyes

## Diseño y formación

Quinta del Agua Ediciones, S.A. de C.V.

## Ilustradores

Ana Viniestra, pp. 17, 20, 22-23, 26-27, 41, 42, 44-45, 50, 54, 63, 65  
Enrique Martínez de la Rosa, pp. 7, 8, 11, 35, 36, 37, 46, 49, 58, 59, 60

## Preprensa e impresión

Tipos Futura, S.A. de C.V.

## Academia Mexicana de Ciencias, A.C.

Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N,  
Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México  
tel.: 5849 4903, fax: 5849 5108

[www.revistaciencia.amc.edu.mx](http://www.revistaciencia.amc.edu.mx)



@CienciaAMC

 **ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS**  
CONACYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

**ciencia**, publicación trimestral, volumen 69, número 4, correspondiente al trimestre octubre-diciembre de 2018, editado y distribuido por la Academia Mexicana de Ciencias, A. C. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Academia Mexicana de Ciencias. Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido por cualquier medio sin la autorización expresa de la Academia Mexicana de Ciencias. Certificado de Reserva de Derechos al uso exclusivo del título 04-2001-072510183000-102 expedido el 25 de julio de 2001 por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Certificado de Licitud de Título 9971 y Certificado de Licitud de Contenido 6971 expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones de Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1405-6550. Editor responsable: Francisco Salvador Mora Gallegos. Formación: Quinta del Agua Ediciones, S.A. de C.V., tel.: 5575 5846. Impresión: Tipos Futura, S. A. de C. V., Yucatán 9-B, Col. Héroes de Padierna, México, D. F., 10700. Tel.: 5568 5065. Tiraje 7 000 ejemplares. Editor responsable: Correspondencia: Academia Mexicana de Ciencias, A. C., atención: Revista Ciencia, Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México, tel.: 5849 4903, fax: 5849 5108, [rciencia@nam.mx](mailto:rciencia@nam.mx), <http://www.amc.mx>.

# Mensaje del presidente de la AMC



El 22 de agosto de 2018 se hizo entrega al presidente electo, licenciado Andrés Manuel López Obrador, del documento *Hacia la consolidación y desarrollo de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación. Objetivo estratégico para una política de Estado 2018-2024*. La elaboración de este texto fue coordinada por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con la participación de un gran número de entidades de investigación científica, innovación, desarrollo tecnológico, ciencias sociales, humanidades y educación superior; así como cámaras empresariales, sectores de gobierno, centros públicos de investigación, academias y fundaciones. El objetivo fue sumar esfuerzos para realizar un análisis profundo y presentar una visión unificada, de largo plazo, sobre la consolidación de políticas públicas en una agenda nacional en ciencia, tecnología e innovación (CTI). La propuesta principal consiste en hacer del conocimiento científico, la tecnología y la innovación –incluida la innovación social– una palanca fundamental para el crecimiento económico sustentable de México, que favorezca el desarrollo humano, posibilite una mayor justicia social, consolide la democracia y la paz, y fortalezca la soberanía nacional.

Las líneas más relevantes de este documento incluyen colocar a la ciencia como una prioridad nacional; definir objetivos concretos nacionales y regionales tomando en cuenta las necesidades del país; consolidar una estrategia de planeación y evaluación; permitir la expansión y el fortalecimiento del sistema de CTI; impulsar las capacidades regionales para lograr un desarrollo más homogéneo en el país; tener una mayor vinculación social, empresarial y de transferencia de tecnologías; incrementar y mejorar la relación con la educación (en particular, la superior); alcanzar un financiamiento claro y sostenido; y establecer un marco normativo y de gobierno para CTI, adecuado a estos objetivos.

Al concluir las presentaciones, el licenciado López Obrador aseguró que el documento que se le entregaba se tomaría en cuenta para el Plan de Desarrollo 2018-2024. Esperemos que se logre alcanzar una inversión sostenida en CTI. Sólo así México transitará hacia una sociedad más equitativa, y hacia un país más próspero y sustentable.

JOSÉ LUIS MORÁN LÓPEZ  
Presidente



**ciencia**

# Desde el Comité Editorial





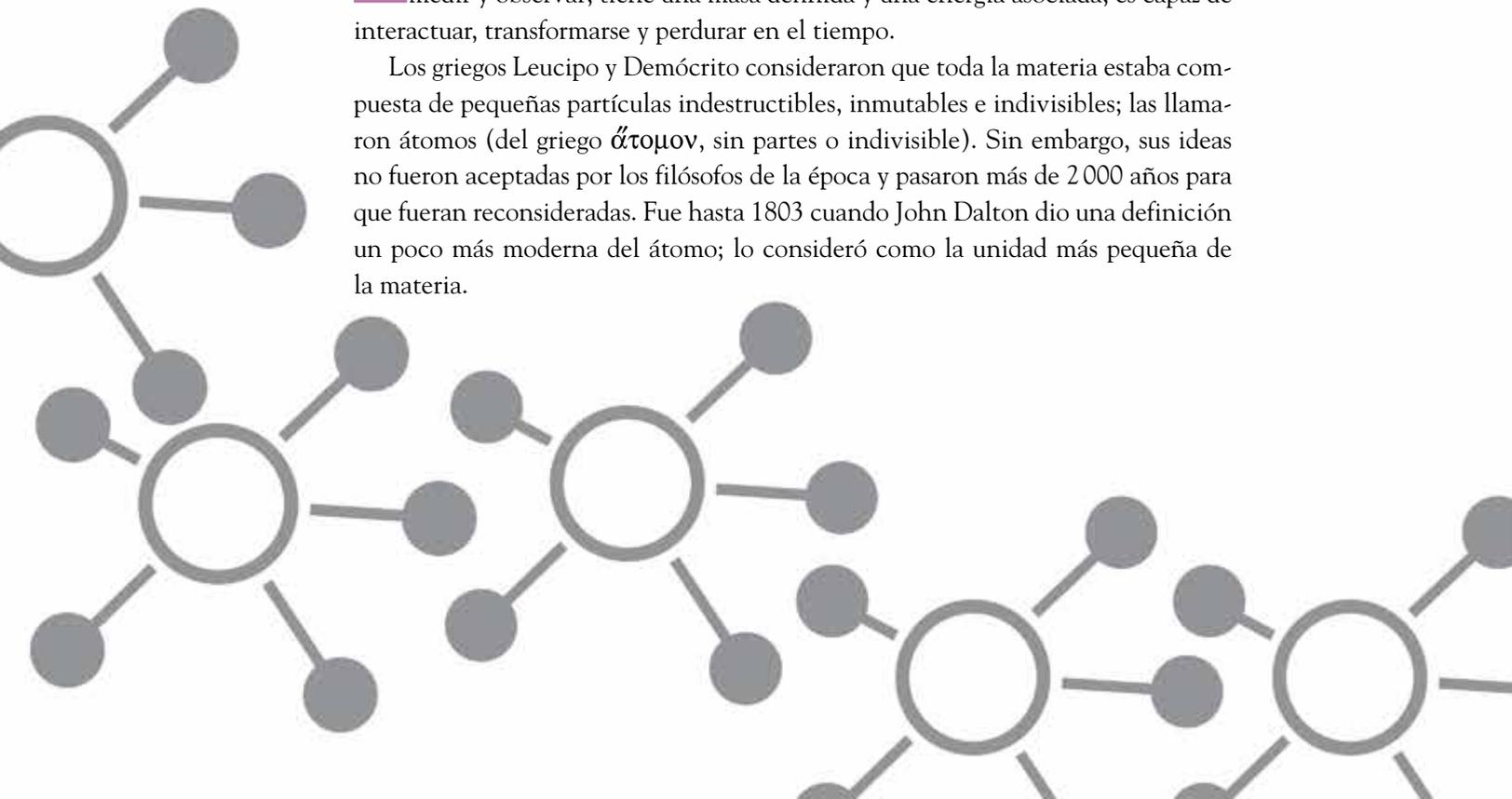
# ¿Qué es la química supramolecular?

La química supramolecular estudia las interacciones intermoleculares y los factores termodinámicos y cinéticos que intervienen en la formación de los complejos supramoleculares; por ello, es denominada “la química más allá de las moléculas”. Hoy constituye una pieza clave para entender muchos fenómenos químicos, físicos y biológicos, con interesantes aplicaciones potenciales.

## La composición de la materia

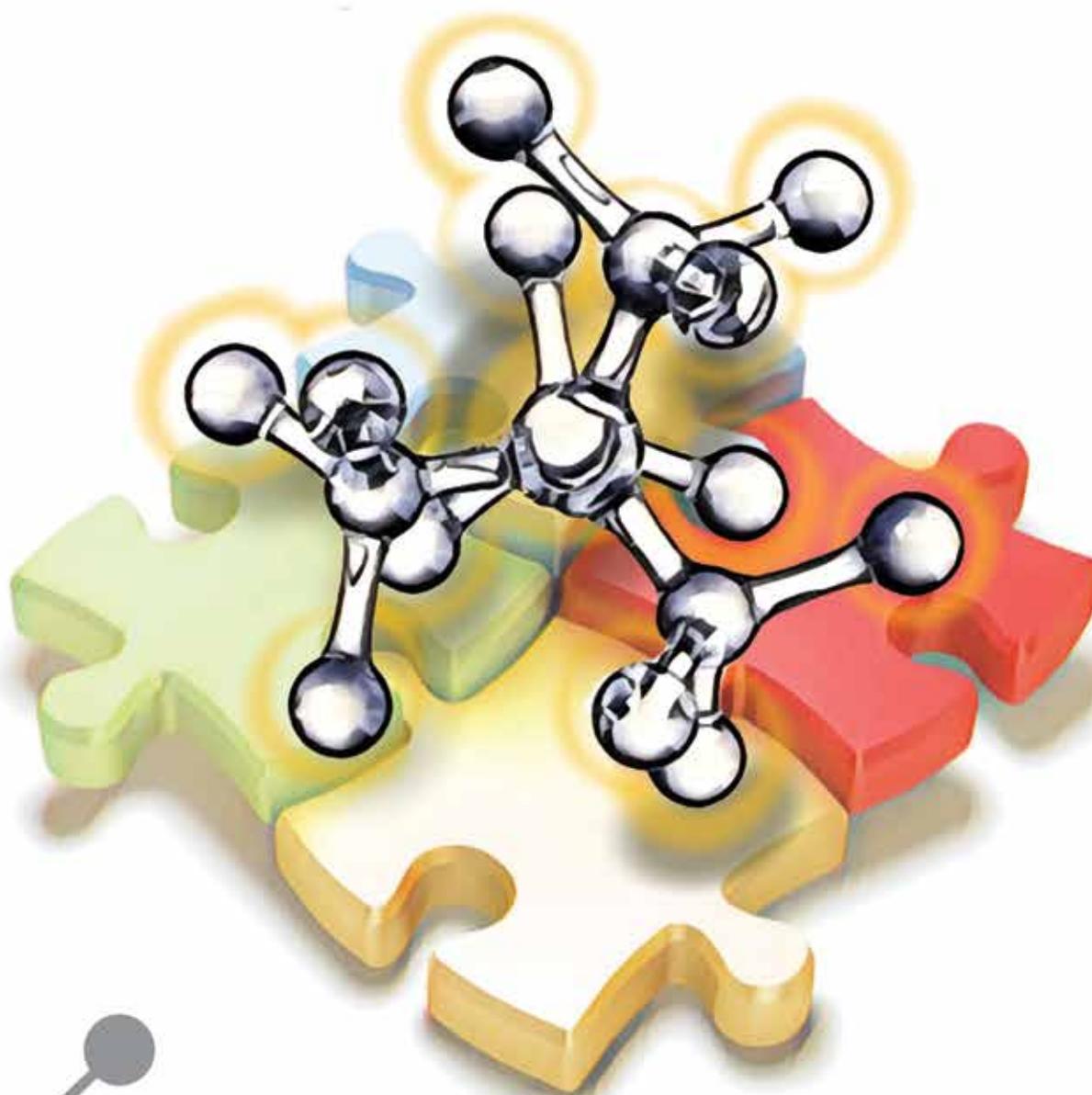
La materia ha sido uno de los principales temas de estudio de la ciencia a través de los años. Es todo lo que ocupa un lugar en el espacio; se puede tocar, sentir, medir y observar; tiene una masa definida y una energía asociada; es capaz de interactuar, transformarse y perdurar en el tiempo.

Los griegos Leucipo y Demócrito consideraron que toda la materia estaba compuesta de pequeñas partículas indestructibles, inmutables e indivisibles; las llamaron átomos (del griego *ἄτομον*, sin partes o indivisible). Sin embargo, sus ideas no fueron aceptadas por los filósofos de la época y pasaron más de 2 000 años para que fueran reconsideradas. Fue hasta 1803 cuando John Dalton dio una definición un poco más moderna del átomo; lo consideró como la unidad más pequeña de la materia.



A lo largo de los años se ha determinado que los átomos están a su vez formados por partículas fundamentales, como los electrones (partículas con carga negativa, descubiertas por Joseph John Thomson en 1897), los protones (partículas con carga positiva, descubiertas por Ernest Rutherford en 1918) y los neutrones (partículas sin carga eléctrica, descubiertas por James Chadwick en 1932). La idea predominante sobre la forma del átomo consiste en un núcleo compuesto de protones y de neutrones, el cual está envuelto por regiones espaciales denominadas orbitales atómicos, en donde se encuentran los electrones.

Cabe mencionar que todos los átomos que tienen el mismo número de protones pertenecen al mismo elemento químico; es decir, cada átomo del elemento químico oro tiene 79 protones, y todos los átomos del elemento químico plata tienen 47 protones. Además, todos los átomos neutros tienen la misma cantidad





de cargas positivas (protones) y de cargas negativas (electrones); así, el átomo del oro, que contiene 79 protones, también contiene 79 electrones. La cantidad de partículas que conforman al átomo confiere propiedades únicas a cada elemento; por ejemplo, de estabilidad o de reactividad frente a otros átomos del mismo elemento o frente a átomos de elementos diferentes, para entre ellos formar enlaces. Así, la unión o el enlace de dos o más átomos —que pueden ser del mismo elemento o de diferentes elementos— da lugar a las moléculas; éstas presentan particularidades derivadas de las propiedades de los átomos que las componen.

Existen moléculas pequeñas, como la molécula de agua ( $H_2O$ ), que se compone de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; también las hay muy grandes y complejas, como una proteína, que por lo general tiene una gran cantidad de átomos de carbono, de hidrógeno, de oxígeno, de nitrógeno y, en algunos casos, de fósforo o de azufre. Sin embargo, todas las moléculas, pequeñas o grandes, comparten algo en común: todos sus átomos se encuentran unidos entre sí a través de uniones fuertes, denominadas enlaces covalentes, en donde cada átomo enlazado comparte un electrón con otro átomo.

#### Heteroátomo

En química orgánica, cualquier átomo que no sea carbono o hidrógeno, y que forme parte de un compuesto químico orgánico.



#### El desarrollo de la química supramolecular

La química estudia los elementos, los compuestos y, de manera general, toda la materia. Esta ciencia se interesa por la reactividad y las transformaciones de los mismos. Por ejemplo, se estudia la transformación de elementos a compuestos, y de unos compuestos químicos a otros, en donde la reactividad está relacionada con su composición y estructura.

La química moderna (desarrollada por Antoine Lavoisier) surgió a partir de la alquimia; pero hoy su amplio campo de estudio se ha dividido en varias disciplinas. La química inorgánica centra su atención en aquellas partes de los compuestos que no son enlaces de carbono e hidrógeno (C–H), ni sus sustituciones por **heteroátomos**; en cambio, la química orgánica se fija en los enlaces C–H de los compuestos químicos y sus sustituciones por heteroátomos. En tanto, la bioquímica se refiere a los fenómenos químicos de los organismos biológicos; la fisicoquímica abarca los aspectos energéticos de los sistemas químicos; la química analítica estudia la composición y estructura a partir de muestras de materia; y recientemente la química supramolecular se ha diferenciado de las anteriores por estudiar las supramoléculas, en lugar de las moléculas.

El estudio de las interacciones intermoleculares y de los factores que mantienen y dirigen la formación de este tipo de complejos o ensamblajes supramoleculares dio origen a la química supramolecular, que por lo general se considera como una extensión de la química molecular y con frecuencia también se denomina “la química más allá de las moléculas”. Jean-Marie Lehn la describió como “la química de los enlaces intermoleculares, que cubre las estructuras y las funciones de las entidades formadas por la asociación de dos o más especies químicas”; más adelante, Fritz Vögtle la definió como “la química más allá de lo molecular; una química de interacciones intermoleculares diseñadas”. Su estudio tiene relevancia directa para entender una amplia gama de fenómenos de interés químico y biológico, en donde las interacciones intermoleculares desempeñan un papel determinante.

En el desarrollo de esta área de la ciencia tuvo un gran impacto el Premio Nobel de Química otorgado

en 1987 a Donald J. Cram (Universidad de California), Jean-Marie Lehn (Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo) y Charles J. Pedersen (la compañía DuPont, en Wilmington), “por el desarrollo y el empleo de moléculas con interacciones específicas de alta selectividad”. Actualmente, a nivel mundial, la química supramolecular tiene un gran auge y ha madurado de manera considerable como un área científica independiente. Sus alcances han sido tan trascendentales que nuevamente dentro de esta disciplina fueron galardonados con el Premio Nobel en 2016 los investigadores Jean-Pierre Sauvage (Universidad de Estrasburgo), Sir James Fraser Stoddart (Universidad Northwestern, Evanston) y Bernard Lucas Feringa (Universidad de Groninga), “por el diseño y síntesis de las máquinas moleculares”, y en donde la Real Academia Sueca de Ciencias considera que los tres laureados “han miniaturizado máquinas y han llevado a la química a una nueva dimensión”.

Los avances obtenidos en la química supramolecular a menudo se describen en la frontera de campos tradicionales como la química inorgánica, la química orgánica, la fisicoquímica y la bioquímica, ya que hace uso de los métodos, las técnicas y los conceptos desarrollados en estas disciplinas, pero enfocados a la investigación sobre la naturaleza de las

fuerzas intermoleculares y sus efectos en las propiedades y funciones de las supramoléculas.

### ■ De las moléculas a las supramoléculas

■ Dos o más moléculas se asocian para dar lugar a sistemas más complejos y grandes: las supramoléculas. Éstas se encuentran unidas de manera débil por asociaciones conocidas como interacciones intermoleculares (asociación de moléculas). De todas las interacciones intermoleculares, la más común es la denominada puente de hidrógeno, en donde el hidrógeno de una molécula se une intermolecularmente con un átomo de otra molécula vecina (véase la Figura 1).

Cabe mencionar que si bien una gran cantidad de moléculas puede asociarse o interactuar entre ellas o con otras moléculas, no todas pueden ser consideradas complejos supramoleculares, ya que una supramolécula debe poseer una estructura bien definida y debe tener una función asociada. Por ejemplo, dos moléculas de agua pueden asociarse formando una red de interacciones intermoleculares de puentes de hidrógeno entre el átomo de oxígeno de una molécula y un hidrógeno de otra molécula; pero al no tener una estructura bien definida ni con una función específica, no se considera una supramolécula.

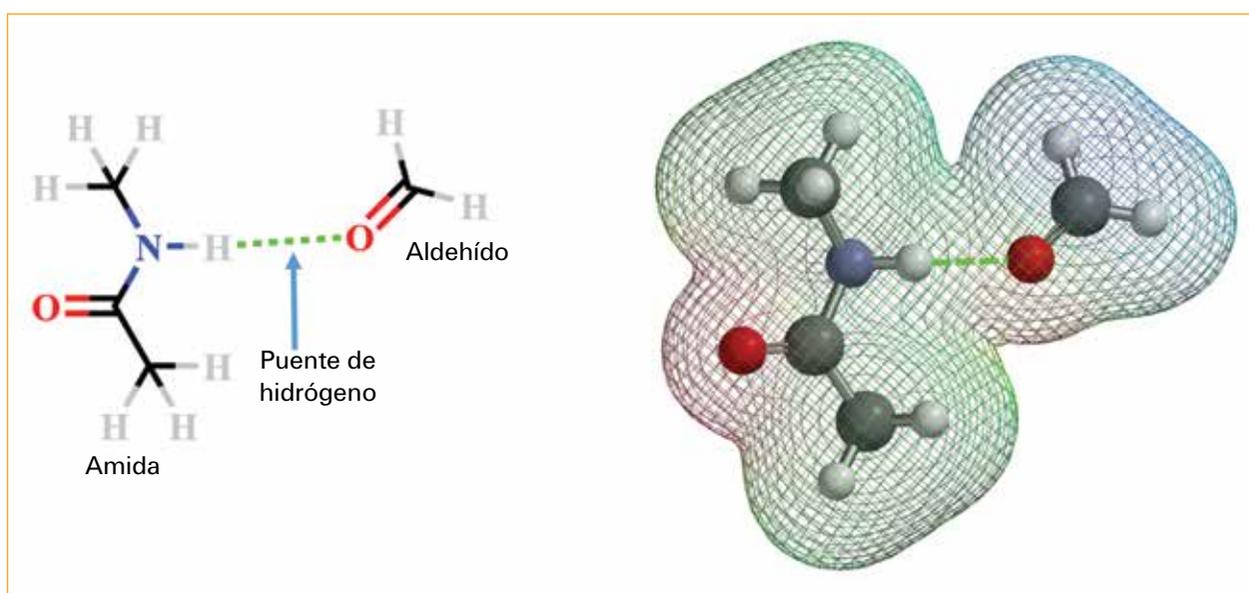


Figura 1. Puente de hidrógeno entre una amida y un aldehído.



La naturaleza nos brinda numerosos ejemplos de los complejos supramoleculares. Uno de los más relevantes –y que constituye un verdadero paradigma de un sistema supramolecular– es la formación de la doble hélice del ADN, formada a partir de dos cadenas o hebras de ácido desoxirribonucleico. La doble hélice se forma mediante puentes de hidrógeno entre pares de bases nucleicas complementarias; como resultado se obtiene una estructura funcional y flexible con la capacidad de **preorganizarse** en respuesta a ciertos estímulos bajo condiciones específicas.

**Preorganización**

Proceso por el cual una molécula receptora modifica su estructura o conformación ante la proximidad o presencia del sustrato.

Resulta interesante comentar que la fuerza asociada a una interacción es muy débil en comparación con la fuerza de un enlace covalente, que forma a las moléculas; sin embargo, la interacción organizada de los diferentes sitios de enlace en dos moléculas permite que su asociación sea estable y favorezca con asombrosa eficiencia los procesos biológicos fundamentales, como la replicación del ADN para la transmisión genética, las interacciones entre antígenos y anticuerpos en reacciones inmunes debidas a procesos infecciosos, o las reacciones enzimáticas que se llevan a cabo en los seres vivos.

**Reconocimiento molecular**

Gracias al estudio y al entendimiento de las interacciones intermoleculares y al desarrollo de la química supramolecular, se han realizado importantes aportaciones para reproducir los procesos biológicos

que se llevan a cabo en los organismos vivos; en especial, aquellos eventos en donde una molécula denominada anfitrión (molécula grande) enlaza selectivamente a otra molécula denominada huésped (molécula pequeña) a través de interacciones intermoleculares. En este sentido, resulta evidente que tanto el anfitrión como el huésped deben poseer una complementariedad geométrica en su forma y tamaño y, además, deben tener una disposición específica y exacta de los sitios por donde interactuarán. A la asociación selectiva de un anfitrión y un huésped se le denomina reconocimiento molecular.

Esta asociación es una función esencial para la vida, ya que mediante el reconocimiento molecular se llevan a cabo procesos químicos, físicos, biológicos y bioquímicos fundamentales, como el transporte de moléculas a través de las membranas, los procesos enzimáticos, las reacciones inmunes desencadenadas en procesos infecciosos o las respuestas del organismo frente a un fármaco determinado, entre otros. La primera idea sobre el reconocimiento molecular data de finales del siglo XIX, gracias al investigador Emil Fischer, quien estudió el fenómeno de selectividad molecular que se lleva a cabo en los organismos vivos y observó que las interacciones entre una enzima y su sustrato se podían comparar con el ensamble de una llave (sustrato) y su cerradura (enzima), en donde únicamente la llave correcta, que es complementaria a la cerradura, puede abrirla (véase la Figura 2).

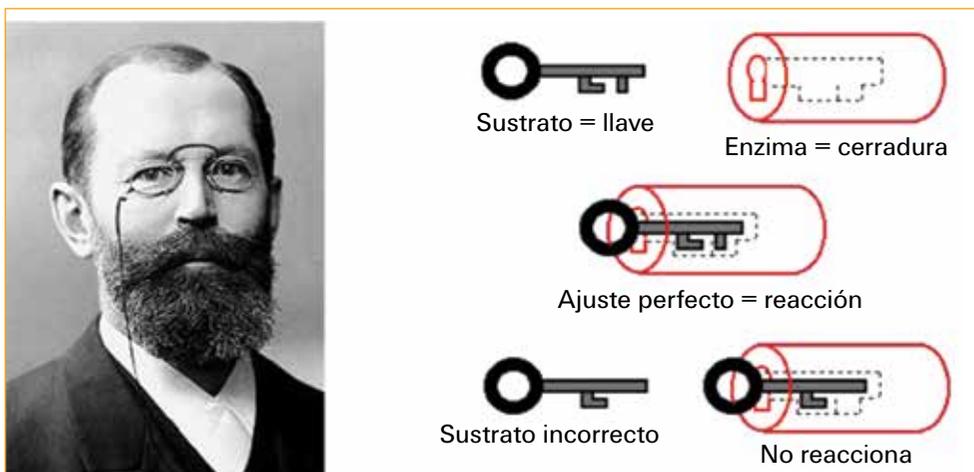
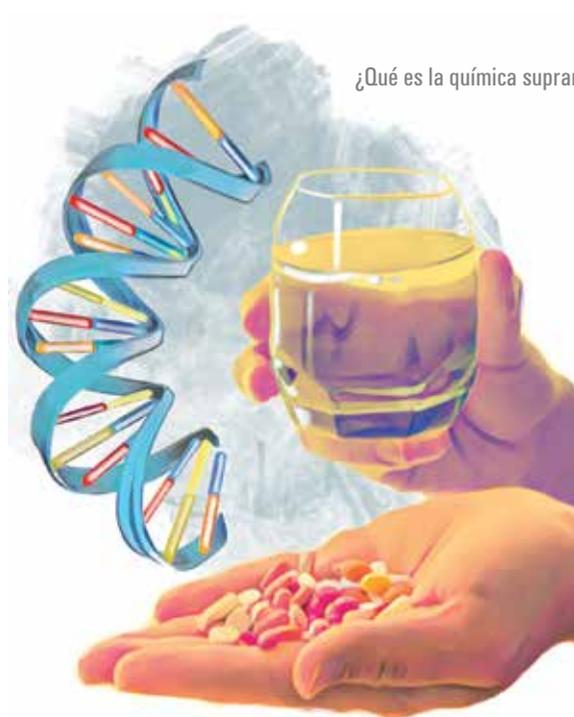


Figura 2. Emil Fischer y su analogía de la llave-cerradura para explicar las interacciones sustrato-enzima.

La clave de la selectividad (reconocimiento molecular) es la complementariedad entre las moléculas participantes. Sin embargo, Paul Ehrlich sugirió que las moléculas no pueden actuar si antes no se asocian a un sitio de acción; por primera vez utilizó el concepto de receptor (anfitrión) que conocemos hoy en día. Actualmente sabemos que el reconocimiento molecular se genera por la complementariedad geométrica (de forma y tamaño) entre el anfitrión y el huésped, así como por la energía asociada al proceso y la naturaleza de las interacciones intermoleculares que se establecen entre ellos. Con base en esto, es evidente que existen numerosos factores que afectan el reconocimiento molecular; los que más influyen en el proceso son los parámetros estructurales de las moléculas, como su tamaño, forma, conectividad, conformación, configuración, dinámica molecular y número de sitios de interacción, así como la naturaleza de las interacciones que pueden establecer, el arreglo espacial de sus sitios de interacción y su capacidad de preorganización.

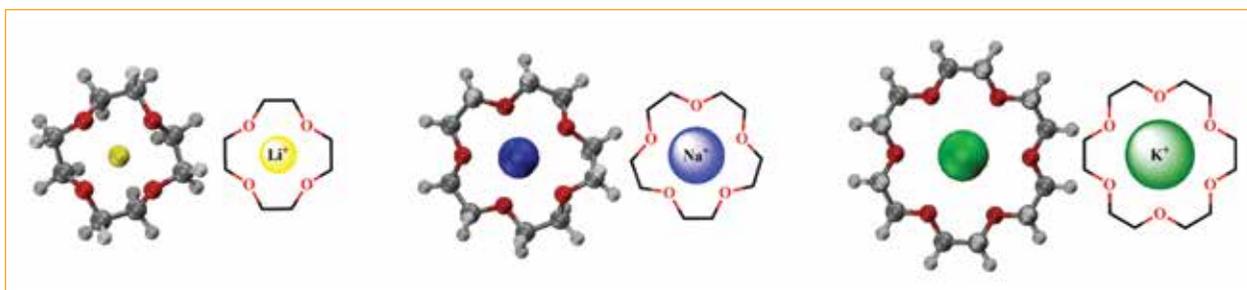
### ■ Aplicaciones de la química supramolecular

■ Con el conocimiento generado hasta el momento e inspiradas en estructuras supramoleculares de importancia biológica, actualmente se están desarrollando estructuras sintéticas con capacidad de ensamblaje y que pueden establecer interacciones débiles (como los puentes de hidrógeno) con otras moléculas o consigo mismas para generar una función específica. La perspectiva de este diseño de sistemas químicos expuesto es que pueda conducir a importantes innovaciones tecnológicas. Además, desde el punto de vista



del conocimiento básico, nuestro entendimiento de los fenómenos controlados mediante interacciones intermoleculares es todavía incipiente, por lo que implica un reto mayúsculo llegar a obtener sistemas supramoleculares con características de selectividad, especificidad y velocidad de transformación comparables a los sistemas biológicos.

Uno de los trabajos más importantes que impulsó el diseño sistemático de anfitriones sintéticos selectivos para moléculas o iones fue el desarrollo de moléculas capaces de transportar especies químicas cargadas positivamente (cationes), de diversos tipos y tamaños, a través de membranas biológicas o sintéticas. Como ejemplo de este tipo de anfitriones sintéticos están los obtenidos por Charles J. Pedersen en los años sesenta del siglo XX, denominados éteres corona (véase la Figura 3). Los éteres corona constan de una estructura cíclica que tiene una cavidad



**Figura 3.** Complejos supramoleculares de Pedersen. De izquierda a derecha: complejo de catión litio con 12-corona-4; complejo de catión sodio con 15-corona-5; complejo de catión potasio con 18-corona-6.



para incluir a los cationes de elementos metálicos (como litio, sodio y potasio). En estos anfitriones, la selectividad radica en que el tipo de ion que se enlaza depende del tamaño de la cavidad del éter corona. Así, el éter más pequeño reconoce al ion litio, que es el catión más pequeño de la serie; el éter más grande reconoce de manera selectiva al catión potasio, que es más grande. De esta manera, las moléculas presentan una selectividad comparable a los sistemas biológicos.

Asimismo, muchos de los mecanismos de acción que hoy presentan los fármacos se deben a procesos de reconocimiento molecular similares. Un ejemplo es la valinomicina, un antibiótico obtenido a partir de las bacterias del género *Streptomyces*. La estructura de esta molécula resulta interesante porque está compuesta de una cadena cíclica de **amidas** y **ésteres** alternados, cuya forma tridimensional genera un anillo parecido a los éteres corona de Pedersen, con

un hueco que, justamente, posee el tamaño adecuado para alojar al ion potasio. Una vez que la valinomicina se inserta en la membrana de la bacteria a la cual ataca, transporta al ion potasio y lo libera dentro de la misma; así, induce un desbalance en el contenido de iones de la célula, lo cual provoca la muerte de la bacteria.

Otro ejemplo de anfitriones macrocíclicos son las ciclodextrinas, también llamadas cicloamilosas (véase la Figura 4). Son compuestos naturales producidos por el tratamiento enzimático del almidón y pueden asociarse eficientemente a las moléculas orgánicas. Las ciclodextrinas más utilizadas son las  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , que contienen 6, 7 y 8 unidades de **glucopiranososa**, respectivamente. Su forma geométrica es de cono, en donde los grupos hidrofílicos (afines al agua) se orientan hacia el exterior de la cavidad, y los grupos hidrofóbicos (no afines al agua, hacia el interior del cono (véase la Figura 5), lo que genera

**Glucopiranososa**

Forma cíclica de la glucosa, generada por la reacción intramolecular de un grupo alcohol con el carbono carbonílico de la glucosa, que forma un ciclo de seis miembros (cinco carbonos y un oxígeno).

**Amidas**

Grupo de compuestos orgánicos derivados de los ácidos carboxílicos (O=C-OH), en donde el grupo hidroxilo del ácido (-OH) es reemplazado por el grupo amino (-NH<sub>2</sub>) y da lugar al grupo funcional O=C-NH<sub>2</sub>.

**Ésteres**

Grupo de compuestos orgánicos derivados de los ácidos carboxílicos (O=C-OH), en donde el grupo hidroxilo del ácido (-OH) es reemplazado por el grupo alcoxi (-OR, donde R es cualquier grupo alquilo) y da lugar al grupo funcional O=C-OR.

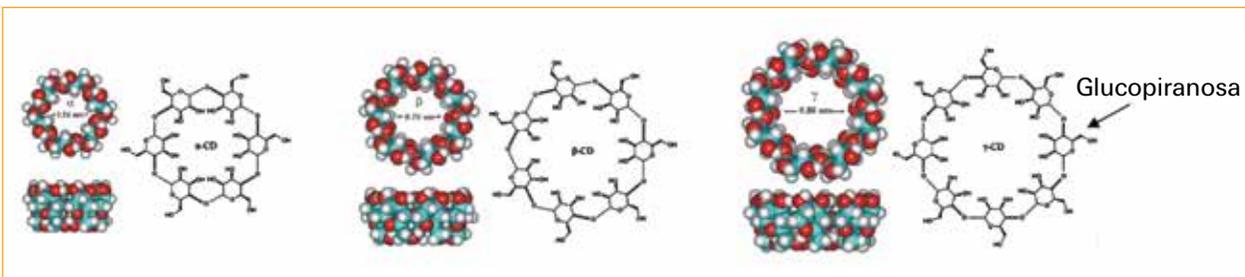


Figura 4. Estructura de las ciclodextrinas ( $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ ).

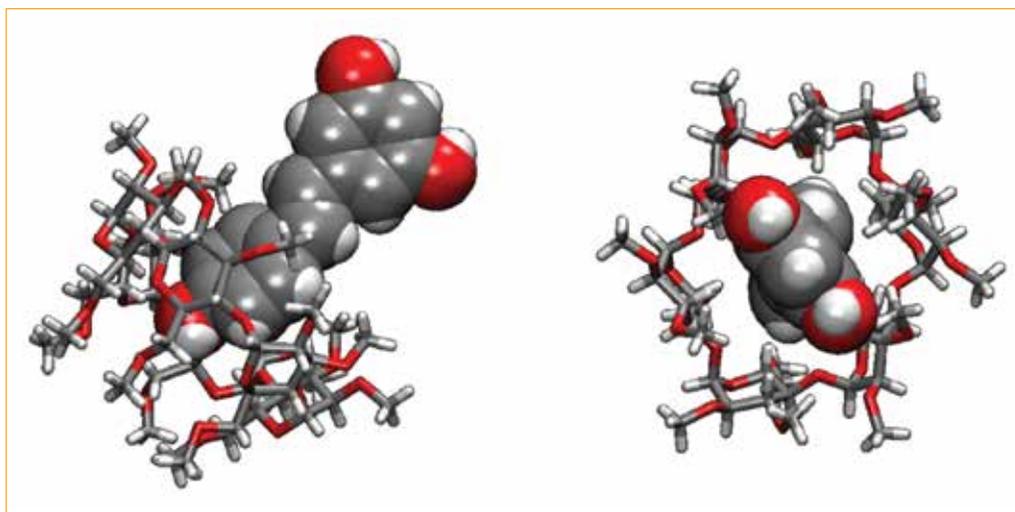


Figura 5. Ejemplo del arreglo tridimensional de un complejo de ciclodextrina.

un **carácter no polar** en la cavidad y un **carácter polar** al exterior. Esta característica es muy importante porque permite la inclusión eficiente de moléculas orgánicas no polares que son poco solubles en agua o insolubles en la cavidad del receptor, mientras que los grupos hidroxilos periféricos de las ciclodextrinas, dispuestos en el exterior de la cavidad, hacen al exterior del receptor soluble en agua, de tal forma que el receptor y sus complejos de inclusión también se pueden disolver en ella.

Con base en estas características, el uso de las ciclodextrinas es muy atractivo para fines prácticos, puesto que son moléculas de bajo costo y en su mayoría no presentan toxicidad. Como ejemplos de aplicaciones de éstas, se han empleado en la industria farmacéutica para incrementar la solubilidad de algunos fármacos en agua, e incluso para su transporte a través de la membrana, lo cual incrementa la eficacia terapéutica. Por su parte, en la industria de alimentos las ciclodextrinas se usan para remover el colesterol; en la perfumería se aprovechan para incluir fragancias y prolongar su liberación; en la industria de la limpieza también se emplean en desodorantes y aromatizantes ambientales para “atrapar” olores de forma eficiente. Además, debido a su potencial selectividad, en química tienen un importante potencial para la purificación de compuestos orgánicos, en donde retienen con más fuerza a las moléculas afines y con menos fuerza a las moléculas poco afines.

Dada la potencial aplicación de los complejos supramoleculares, uno de los objetivos actuales consiste en obtener receptores sintéticos con múltiples grupos funcionales que permitan una combinación variada de interacciones intermoleculares para la formación de complejos estables. Sin embargo, la incorporación de un arreglo de diferentes grupos

funcionales dentro del mismo receptor no es una tarea sintética fácil, pero el resultado final podría ser la creación de receptores de nueva generación con mayor eficiencia y el desarrollo de nuevos enfoques sobre el diseño de fármacos, el monitoreo químico y clínico de forma selectiva, y el desarrollo de importantes innovaciones tecnológicas.

#### **Karina Mondragón Vásquez**

Facultad de Bioanálisis Veracruz, Universidad Veracruzana.  
kmondragon@uv.mx

#### **Jorge Guillermo Domínguez Chávez**

Facultad de Bioanálisis Veracruz, Universidad Veracruzana.  
jorgedominguez@uv.mx

#### **Francisco Abelardo Cen Pacheco**

Facultad de Bioanálisis Veracruz, Universidad Veracruzana.  
fcen@uv.mx

#### **Carácter polar y no polar**

La polaridad química de una molécula representa la separación de las cargas eléctricas en la misma. Se dice que una molécula tiene un carácter polar cuando puede formar regiones de mayor densidad electrónica (dipolo negativo) o menor densidad electrónica (dipolo positivo); por el contrario, cuando no se forman estos dipolos, se dice que la molécula tiene un carácter no polar.

#### **Lecturas recomendadas**

Hernández Obregón, J. (s/f), “Química supramolecular”, *Monografías.com*. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos44/quimica-supramolecular/quimica-supramolecular.shtml>>. Consultado el 24 de julio de 2018.

Shevtsova de Vargas, G. (1995), “Química Supramolecular (I parte)”, *Revista de Química*, 9:17-28. Disponible en: <<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/8352>>. Consultado el 24 de julio de 2018.

Shevtsova de Vargas, G. (1995), “Química Supramolecular (II parte)”, *Revista de Química*, 9:119-135. Disponible en: <<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5553>>. Consultado el 24 de julio de 2018.

María José Ibarrola Rivas y Leopoldo Galicia



# Seguridad y sustentabilidad alimentarias en México

La solución al problema de la seguridad alimentaria se ha centrado en la producción agrícola. Aquí presentamos una reflexión integral que considera la demografía, los hábitos de alimentación, los sistemas productivos, el impacto ambiental y los servicios ecosistémicos. Concluimos que las tecnologías agrícolas y las dietas que reduzcan las externalidades ambientales son los caminos para alcanzar la seguridad alimentaria de forma sustentable en México.

La seguridad alimentaria es uno de los desafíos globales más apremiantes que enfrentan la sociedad, los gobiernos y la comunidad científica. El reto es complejo, por lo que no puede analizarse de manera fragmentada y simplificada.

El continuo crecimiento de la población, el incremento en el consumo y el proceso de urbanización sugieren que la demanda mundial de alimento será cada vez mayor durante los próximos 50 años. En este sentido, el crecimiento poblacional hace que aumente la demanda de alimentos y, por lo tanto, de tierras agrícolas. Asimismo, la dinámica de la población mundial (tamaño de la población, crecimiento, densidad, composición por edad y sexo, migración, urbanización, etc.) influye también en los requerimientos de espacio, alimentos, agua y energía. Por otra parte, el incremento en el consumo trae consigo una mayor demanda de alimentos procesados –como carne roja, lácteos y pescado–, lo cual añade presión a los sistemas de producción. Al mismo tiempo, el proceso de urbanización trae consigo el cambio de las dietas, lo cual también influye en la actividad agrícola y sus formas de producción. Más aún, los productores de alimentos experimentan una mayor competencia por la tierra, el agua y la energía; además de la necesidad de frenar los muchos efectos negativos sobre el ambiente provocados por la producción de alimentos (por ejemplo, reducir la erosión y salinización de los suelos). Por lo tanto, para garantizar la seguridad alimentaria de las generaciones actuales y futuras es necesario que haya suficiente disponibilidad de tierra y agua, pues constituyen los dos recursos más importantes para la producción agrícola y para mantener su dis-

ponibilidad en el largo plazo. En esencia, los agricultores del mañana necesitarán producir más alimentos con menos recursos.

Hoy el sector de la producción de alimentos ocupa alrededor de 40% de la tierra libre de hielo del planeta y 70% del agua que consume la humanidad (FAO, 2013). En las próximas décadas el uso de la tierra y del agua estará llegando a sus límites en el planeta debido al crecimiento poblacional, el desarrollo económico y el incremento en el consumo (Rockström y cols., 2009). Esto acrecentará los desafíos para alcanzar la seguridad alimentaria global en el futuro.





La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define que “existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades de alimentación y sus preferencias en cuanto a los alimentos, con el fin de llevar una vida activa y sana” (FAO, 2007). A esta definición le falta incluir al futuro de la alimentación, lo cual es fundamental, ya que los avances tecnológicos agrícolas de las décadas pasadas han tenido un gran impacto ambiental negativo, y en muchos casos han incrementado la vulnerabilidad de los sistemas productivos. Además de satisfacer las demandas del mercado, la producción mundial de alimentos tiene que alcanzar varios objetivos fundamentales de las sociedades, como reducir la malnutrición y la pobreza, aumentar el acceso a una dieta saludable, mejorar la gestión y asignación de los recursos como el agua, lograr un mayor uso de las energías renovables y proteger el clima, los ecosistemas y la diversidad biológica; asimismo, garantizar los servicios ecosistémicos, los cuales son los beneficios que la sociedad obtiene de los agroecosistemas. Por lo tanto, para alcanzar la seguridad alimentaria de las generaciones futuras, la producción y el consumo de alimentos deben ser sustentables.

México es uno de los países que enfrentará grandes desafíos para alimentar a su población debido a la transición socioeconómica (crecimiento poblacional, urbanización, desarrollo económico, desigualdad social, etc.) y a la gran heterogeneidad en la producción agrícola del país (tipos de manejo agrícola, diversidad agroclimática, usos de suelo, entre otros). El sector agropecuario en México aportó 4% y 6% del PIB anual en 2012 y 2013, respectivamente. Pero más allá de su participación en el PIB nacional, éste tiene una gran relevancia en el ámbito económico, social y ambiental, lo que determina que su incidencia en el desarrollo sea mucho mayor de lo que ese indicador pueda implicar. De manera particular, el impacto ecológico de estas actividades limita las posibilidades y alternativas para su manejo racional, por lo cual la provisión de servicios ecosistémicos abre una oportunidad para evaluar

los servicios no comerciales, como la biomasa, la captura de carbono y la biodiversidad, entre otros, como un indicador de la sustentabilidad; sin embargo, los estudios sobre los servicios ecosistémicos en los sistemas agropecuarios en México son escasos.

■ ■ ■ **La tierra para cultivar es limitada**

■ Actualmente en la literatura internacional existe un debate entre dos visiones polémicas sobre la estrategia del uso de la tierra para la producción agrícola; se denomina *land sharing-land spreading*, pues las dos visiones son: 1) concentrar la producción de cultivos en sistemas intensivos que utilizan menos cantidad de tierra y más insumos agrícolas (fertilizantes, herbicidas, semilla mejorada, riego, etc.) –aunque estos sistemas están desligados del contexto local–; y 2) tener sistemas poco intensivos conectados directamente a las condiciones locales –se les llama comúnmente agroecosistemas–, los cuales utilizan más cantidad de tierra y menos insumos agrícolas.

México tiene un área de tierra total de 194 millones de hectáreas, donde el área agrícola para producir alimento incluye cultivos y pastizales que representan 13% y 55% del total, respectivamente (FAO, 2013). El área de cultivos es menor que la de pastizales, pero esta tierra es mucho más productiva; no sólo hay mayor cantidad de alimento por hectárea, sino que se cultivan los productos básicos de la alimentación. Por esto, el área de cultivo arable es el principal activo en cuestiones de seguridad alimentaria. Por el contrario, los pastizales se usan para el forraje del ganado, lo que resulta de manera indirecta en productos animales, como carne y lácteos. La cantidad de estos alimentos por hectárea en pastizales es mucho menor que la cantidad de cultivo producida en tierra arable.

A continuación discutimos algunas directrices de la seguridad alimentaria y los grandes desafíos que tendrá México; lo que se requiere es un cambio en la forma de buscar soluciones. En términos generales, la tierra de cultivos se podría extender hacia otras áreas; sin embargo, el área actual de cultivos se encuentra prácticamente estable y no es deseable aumentarla en gran escala por dos razones: 1) actualmente

la tierra cultivada ocupa el área de mejor calidad y la más fértil; y 2) aumentar la tierra arable hacia áreas naturales provocaría su deforestación, lo cual tiene un gran impacto ambiental.

Para discutir qué posibilidades tiene México para alimentar a su población se debe considerar la tierra de cultivo disponible por persona. Esto ha cambiado mucho en los últimos años: en 1960 era de 5 600 m<sup>2</sup>/persona y para 2010 disminuyó a tan sólo 2 400 m<sup>2</sup>/persona. Hay dos factores que afectan esta disponibilidad: 1) el cambio en la extensión agrícola y 2) el crecimiento poblacional. Las proyecciones de la FAO y las Naciones Unidas para los siguientes años indican que esta disponibilidad de tierra por persona va a seguir disminuyendo, ya que el crecimiento poblacional será mayor que la expansión agrícola. Las Naciones Unidas (2011) tienen varias proyecciones del crecimiento poblacional dependiendo de la tasa de fertilidad; si analizamos tres de ellas: “baja”, “media” y “alta” tasa de fertilidad, la disponibilidad de tierra en el año 2050 (asumiendo la expansión agrícola que proyecta la FAO) será de 2 000 m<sup>2</sup>/persona (“baja”: 145 millones de personas),

1 700 m<sup>2</sup>/persona (“media”: 164 millones de personas) o 1 500 m<sup>2</sup>/persona (“alta”: 184 millones de personas). El desafío por cada uno de estos escenarios dependerá de la demanda de alimentos de la población, lo cual discutiremos a continuación. La poca disponibilidad de tierra cultivable para alimentar a toda la nación representará un gran reto en el futuro.

#### ■ **Demanda y disponibilidad de tierra:**

##### ■ **¿es suficiente?**

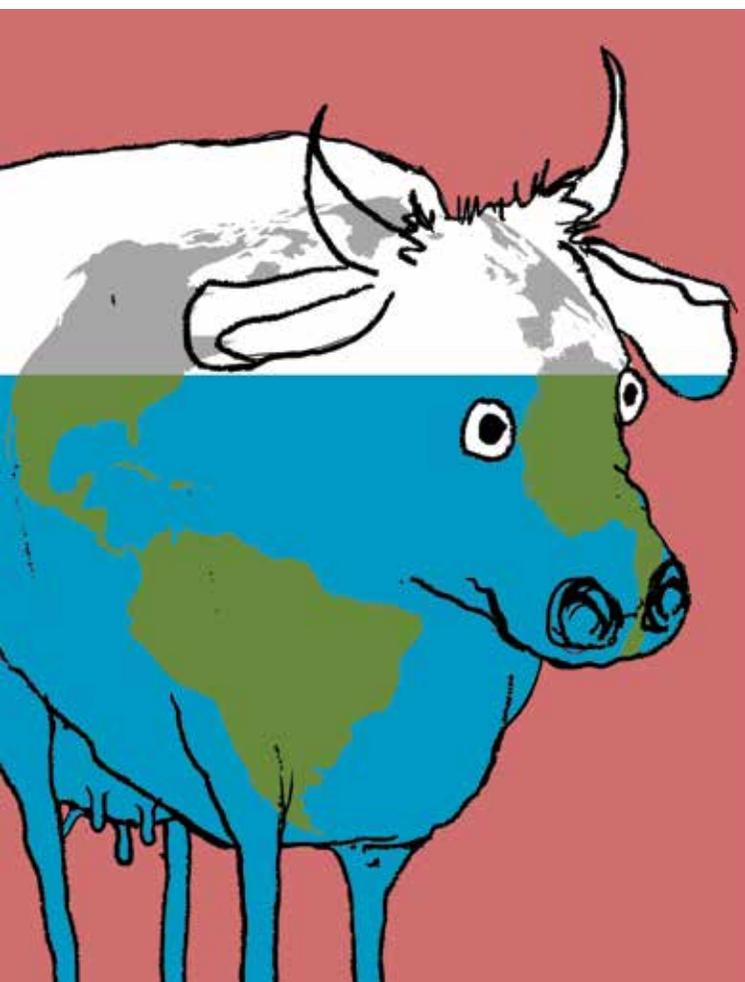
■ La cantidad de tierra que un país necesita para alimentar a sus habitantes depende de varios factores: el tamaño de la población, las tecnologías agrícolas (de bajos a altos rendimientos) y los tipos de dietas (desde básicas hasta lujosas). Estos dos últimos determinan la cantidad de tierra que demanda una persona para producir su alimento.

#### *Tecnologías agrícolas disponibles*

La tecnología agrícola tiene un gran potencial como parte de la solución a la seguridad alimentaria en las siguientes décadas. Las tecnologías con altos rendimientos usan menos cantidad de tierra que aquellas con bajos rendimientos. Un estudio demuestra que si se alcanzaran los mayores rendimientos agrícolas posibles en el área actual de cultivo, se podría abastecer la demanda alimentaria de productos de origen vegetal para 200 millones de habitantes. Sin embargo, los altos rendimientos se alcanzan con sistemas intensivos que utilizan una gran cantidad de insumos, como fertilizantes, riego, semilla mejorada, herbicidas e insecticidas. Lo anterior trae como resultado un gran impacto ambiental y la disminución de la resiliencia de los sistemas agrícolas, lo cual compromete la producción de alimento para las generaciones futuras. Por el contrario, el uso de tecnologías agrícolas básicas resulta en bajos rendimientos pero con un menor impacto; consideremos que en México prevalecen los sistemas campesinos de autoconsumo.

#### *Cambios en los hábitos de alimentación*

Otro punto clave es la tendencia actual a cambiar hacia las llamadas dietas lujosas; esto es lo que se





espera para los siguientes años, por la migración rural-urbana y el aumento del nivel socioeconómico de la población. Una dieta básica (por ejemplo, la dieta rural campesina) requiere menos cantidad de tierra que la dieta lujosa (la dieta urbana de nivel socioeconómico alto), principalmente por la gran cantidad de productos animales que contiene la segunda en comparación con la primera.

El cambio de dietas hacia un consumo más sustentable (en especial, poco consumo de productos animales) sería una gran solución. La razón es que la producción de una caloría o proteína animal es mucho más ineficiente en cuanto al uso de tierra que la producción de una proteína vegetal. La cantidad de tierra para producir una caloría animal se mide de manera indirecta; es la tierra de cultivo necesaria para obtener el alimento del ganado (el pienso) y el área que ocupa el animal para vivir (la granja y el pastizal). En promedio, una proteína animal necesita diez proteínas vegetales.

En México hay una gran diversidad en el consumo de alimentos debido a aspectos tanto demográficos (rural-urbano) como socioeconómicos

(bajo-alto). En general, las dietas van cambiando según el desarrollo socioeconómico de la población. En un nivel bajo se tienen dietas muy básicas, que incluyen principalmente cereales, tubérculos y leguminosas. Para estas dietas el consumo de productos “de lujo”, como animales, frutas, verduras, azúcares y aceites vegetales, es muy reducido. Pero a medida que va incrementando el nivel socioeconómico, el consumo de dichos productos aumenta, en especial azúcares, aceites vegetales y productos animales. Con esto aparecen problemas nutricionales, como sobrepeso, diabetes y obesidad. Finalmente, en los niveles socioeconómicos altos, la dieta llega a una saturación de productos animales (más o menos 30% de las calorías totales), aumenta el consumo de frutas y verduras, disminuye el de aceites vegetales y se incrementan los problemas nutricionales de la etapa anterior.

#### *Algunos pronósticos*

Para los años por venir se espera un cambio en la relevancia de estos dos grandes factores (tecnologías agrícolas y dietas) en el uso de la tierra. Según los

pronósticos de la FAO, la tecnología agrícola no aumentará tanto como en las décadas anteriores. Por el contrario, las dietas seguirán cambiando hacia patrones de consumo más lujosos debido al crecimiento económico y la urbanización (Kearney, 2010). Es así que el tipo de dieta, en contraste con la tecnología agrícola, tendrá un mayor impacto en la demanda de tierra y, por ende, para alcanzar la seguridad alimentaria nacional.

En México existe una gran heterogeneidad en estos ámbitos. Por ejemplo, hay sistemas agrícolas con muy alta producción (rendimientos de maíz de más de 8 ton/ha) que usan una gran cantidad de insumos, como riego, fertilizantes, herbicidas y semilla mejorada, entre otros; y por otro lado, sistemas de bajo rendimiento, o sistemas de temporal, que por lo general son pequeños productores (rendimientos de maíz de 1 ton/ha) que usan pocos insumos (SIAP, 2017). Con relación a las dietas, el 10% más pobre de la población tiene dietas muy básicas con poco consumo de productos animales: menos de 300 kcal/persona/día de carnes y lácteos; en cambio, el 10% más rico de la población tiene dietas lujosas con más del doble de este consumo de productos animales: 770 kcal/persona/día de carnes y lácteos (Martínez Jasso y Villezca Becerra, 2003).

Esta gran diversidad de sistemas agrícolas y dietas tiene un gran impacto en la demanda de tierra por persona (véase la Tabla 1). Los datos demuestran que la dieta lujosa necesita de 60% a 80% más tierra que la dieta básica. Para el año 2050 en México habrá 1700 m<sup>2</sup>/persona de tierra de cultivo (asumiendo el crecimiento poblacional con una tasa de fertilidad “media”) (Naciones Unidas, 2011). Esto significa que no habrá suficiente tierra para alimentar a toda la población con dietas lujosas, a menos

**Tabla 1.** Demanda de tierra por persona (Ibarrola Rivas y Granados Ramírez, 2017).

	Dieta básica	Dieta lujosa
Sistema temporal (bajos rendimientos)	1 600 m <sup>2</sup> /persona	2 500 m <sup>2</sup> / persona
Sistema de riego (altos rendimientos)	700 m <sup>2</sup> /persona	1 200 m <sup>2</sup> /persona

que todo el campo mexicano tenga altos rendimientos agrícolas. Por el contrario, habrá suficiente tierra si toda la población tiene dietas básicas, incluso con sistemas extensivos de bajos rendimientos.

Debemos considerar que las proteínas animales son mucho menos eficientes que las proteínas vegetales y tienen mayores impactos ambientales. Actualmente se están realizando esfuerzos de investigación para desarrollar nuevos alimentos proteínicos, pero dado el grado en que las preferencias alimentarias están incrustadas en la cultura, no está claro cuán exitosos serán los programas para convencer a los habitantes de cambiar a nuevos tipos de dietas. Es necesario mencionar que la dieta básica no es deficiente en nutrientes. La dieta tradicional de la milpa mexicana es muy rica nutricionalmente y, como se puede ver, es más sustentable que la dieta lujosa; sobre todo si pensamos en los grandes desafíos del futuro por la limitación de la disponibilidad de tierras de cultivo.

#### ■ **Los servicios ecosistémicos en la agricultura: el camino hacia la sustentabilidad**

■ La extensión e intensificación de la agricultura y la competencia por la tierra para otras actividades humanas tienen impactos negativos sobre la biodiversidad y los servicios que proveen los ecosistemas naturales (por ejemplo, la purificación del agua y la prevención de la erosión del suelo). De hecho, en las últimas décadas, las tierras agrícolas que anteriormente eran productivas se han perdido en la urbanización y por otros usos humanos, así como resultado de la desertificación, la salinización, la erosión del suelo y otras consecuencias de una tierra insostenible. No obstante, el desarrollo científico a partir de los estudios de los servicios ecosistémicos se ha focalizado en el marco de los ecosistemas naturales, específicamente en selvas y bosques; de manera particular, se centra en entender los servicios ecosistémicos que demandan las actividades productivas y que son imperativos para satisfacer la demanda de alimentos, fibras, energía y pienso, tanto de los sistemas de producción tradicional como de los intensivos. Por ejemplo, la cantidad y calidad de la producción



agrícola dependen de la estructura y fertilidad del suelo, debido a que es el soporte (físico, químico y biológico) que permite la disponibilidad de nutrientes, su almacenamiento y reciclado. Asimismo, puede requerir de servicios como polinización, control de enemigos naturales y acceso al agua en cantidad y calidad para la producción. El suministro de este recurso es un servicio ecológico esencial que facilita la productividad de los sistemas agrícolas y para la producción de carne; éstos consumen alrededor de 70% del agua a nivel global (Power, 2010).

De la misma manera en que se pueden aumentar los rendimientos con el uso de las tecnologías existentes, actualmente hay muchas opciones para reducir las externalidades negativas (por ejemplo, emisiones de CO<sub>2</sub> y metano). Las reducciones netas de algunas emisiones de gases de efecto invernadero pueden lograrse mediante el cambio de las prácticas agrícolas, la adopción de métodos integrados de manejo de plagas y la gestión integrada de desechos en la producción ganadera. Por mencionar un ejemplo, la agricultura de precisión se refiere a una serie de tecnologías para la aplicación de agua, nutrientes y pesticidas solamente en los lugares y momentos que se requieran; así se optimiza el uso de los insumos en los cultivos.

Los sistemas agrícolas y ganaderos, además de la producción de cultivos, carne y lácteos, pueden proveer otros servicios ecosistémicos a partir de prácticas sustentables. Por ejemplo, la siembra de policultivos que permitan la cobertura permanente puede proveer servicios como la conservación del suelo y la mitigación del cambio climático mediante el secuestro de carbono, o bien la protección de la diversidad al proporcionar un hábitat para la vida silvestre. De manera particular, la capacidad de secuestro de carbono del suelo se puede aumentar y regular por las prácticas de manejo agrícola, con la reducción del barbecho y teniendo cultivos permanentes; asimismo, la incorporación de residuos de cultivos puede mantener la materia orgánica del suelo, lo que ayuda a retener agua y suministrar nutrientes para los cultivos. Las fincas ganaderas y las producciones agropecuarias en general, bajo un sistema de producción sostenible, pueden constituir importantes reservo-



rios para la fauna silvestre, la conservación del suelo y la calidad del agua, entre otros servicios, si se reduce, por ejemplo, el sobrepastoreo. Sin embargo, la investigación sobre este tipo de aplicaciones todavía es escasa en los sistemas productivos de México.

Considerar los servicios ecosistémicos de los agroecosistemas es un enfoque novedoso en la ciencia a nivel internacional. Se toman en cuenta todos los beneficios que los seres humanos obtenemos de los sistemas agrícolas, que incluyen no sólo los servicios de producción (los alimentos), sino también otros servicios, como fertilidad y estructura del suelo que evita la erosión, regulación del ciclo hidrológico, almacenamiento de carbono, hábitat para otros seres vivos (como los polinizadores), control de inundaciones, así como otras fuentes de ingreso (por ejemplo, el ecoturismo), patrimonio cultural y bienestar para los productores. Al integrar todos éstos, el análisis del sistema agrícola incluye las externalidades (los impactos ambientales) que no se toman en cuenta cuando sólo se analiza la cantidad de ali-

mento producido. Al considerar las externalidades, se puede evaluar la resiliencia del sistema agrícola, lo cual refleja la vulnerabilidad que tendría en un futuro. Por lo tanto, este enfoque permitiría evaluar la sustentabilidad de la seguridad alimentaria para las generaciones siguientes; por ello, es fundamental transitar a un entendimiento integral de los servicios ecosistémicos de la agricultura.

### Conclusión: la necesidad de un nuevo enfoque

En este ensayo proponemos vincular la literatura científica sobre las dinámicas poblacionales, la producción agrícola (tecnologías), los patrones alimentarios (dietas) y el impacto ambiental. Con ello identificamos que es necesario analizar e integrar estos temas como un paso imperativo para construir un puente entre la producción de alimento, el crecimiento de la población, su desarrollo socioeconómico y la sustentabilidad, para así entender las interacciones e impactos relacionados con la seguridad alimentaria. Los desafíos para las siguientes décadas serán diferentes a los del siglo pasado, cuando la revolución verde, por medio de la tecnología agrícola, fue la estrategia principal para alcanzar la seguridad alimentaria. En el presente y el futuro, las políticas y estrategias públicas deberán enfocarse a lograr la seguridad alimentaria de una forma sustentable. Nuestras premisas parten de que estas estrategias deben considerar el consumo (patrones de consumo y tamaño de la población) y tomar en cuenta que para los próximos años:

1. Los rendimientos agrícolas no aumentarán tanto como en las décadas anteriores.
2. La reducción del impacto ambiental y el aumento de la resiliencia de los sistemas agrícolas será fundamental para enfrentar el objetivo de la seguridad alimentaria; por ello los sistemas agrícolas deben ser sustentables. En este contexto, el enfoque de servicios ecosistémicos es ideal para considerar la sustentabilidad.
3. El cambio en los patrones alimentarios hacia dietas lujosas tendrá un gran impacto ambiental. Por

lo tanto, las políticas públicas y estrategias deben enfocarse en promover patrones de consumo con bajo impacto ambiental.

#### María José Ibarrola Rivas

Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

ibarrola@igg.unam.mx

#### Leopoldo Galicia

Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

lgalicia@igg.unam.mx

#### Lecturas recomendadas

FAO (2007), *Conferencia Internacional sobre Agricultura Orgánica y Seguridad Alimentaria*. Disponible en: <<http://www.fao.org/organicag/oa-specialfeatures/oa-foodsecurity/es/>>. Consultado el 20 de agosto de 2018.

FAO (2013), *FAOSTAT Statistical Database*. Disponible en: <[www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)>. Consultado el 8 de agosto de 2018.

Ibarrola Rivas, M. J. y Granados Ramírez, R. (2017), "Diversity of Mexican diets and agricultural systems, and their impact on the land requirements for food", *Land Use Policy Journal*, 66:235-240.

Kearney, J. (2010), "Food consumption trends and drivers", *Phil. Trans. R. Soc. B*, 365(1554):2793-2807.

Martínez Jasso, I. y Villezca Becerra, P. A. (2003), "La alimentación en México: un estudio a partir de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares", *Revista de Información y Análisis*, 21:26-37.

Naciones Unidas (2011), *World population prospects. The 2010 revision, vol. 1, comprehensive tables* (Informe núm. ESA/P/WP.220), Nueva York, ONU.

Power, A. G. (2010), "Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies", *Phil. Trans. R. Soc. B*, 365(1554):2959-2971. Disponible en: <[doi:10.1098/rstb.2010.0143](https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143)>. Consultado el 8 de agosto de 2018.

Rockström, J. et al. (2009), "Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity", *Ecol. Soc.*, 14(2):32. Disponible en: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>>. Consultado el 8 de agosto de 2018.

SIAP (2017), *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Disponible en: <<http://www.gob.mx/siap/>>. Consultado el 8 de agosto de 2018.

# El concepto de *especie* en biología

Es casi imposible encontrar definiciones y conceptos de aplicación universal en biología. La especie, una categoría clave, se ha debatido durante mucho tiempo. Nuestra tendencia a encasillar a la diversidad biológica en compartimentos que permitan establecer clasificaciones y jerarquías parece estar reñida con la realidad. Los continuos en la naturaleza son más una regla que una excepción.



## **Divisa f.** Señal exterior para distinguir personas, grados u otras cosas.<sup>1</sup>

La gente gusta de clasificar a las cosas en categorías que facilitan la comunicación y disipan la ambigüedad que conlleva la abstracción. Idealmente, las clasificaciones permiten a sus usuarios organizar en categorías jerárquicas, lo que da una sensación de estructura y orden. El uso de categorías es ubicuo; en cierto sentido pueden ser consideradas divisas de cambio.

Tomemos por ejemplo el metro. El metro es un estándar —respaldado por una barra hecha de una aleación de iridio-platino— que fue acordado para resolver un debate añejo de unidades muy variables para medir distancias. Después del metro llegó el segundo, el kilogramo y otras unidades que conforman el Sistema Interna-

<sup>1</sup> Definiciones del *Diccionario de la Lengua Española*, Real Academia Española, en línea.





cional de Unidades. Éste hoy dispone de siete divisas básicas de tiempo, masa, longitud, etc., las cuales son muy precisas y dejan muy poco margen para el error. Más aún, muchas de ellas tienen categorías anidadas; por ejemplo, cien centímetros hacen un metro y mil metros, un kilómetro.

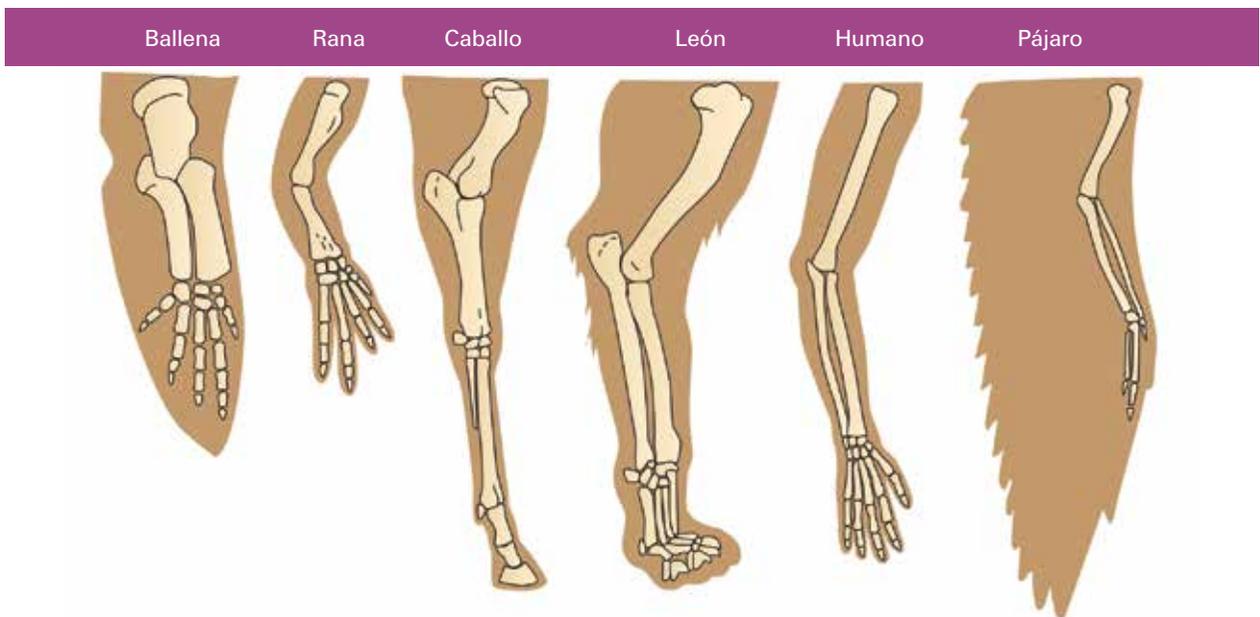
De manera similar al debate del estándar de unidades, los biólogos han buscado divisas para comunicar su ciencia. Un punto de inicio obvio es el organismo, aunque los microscopios y otras herramientas han servido para buscar otras divisas de carácter más fino, por debajo de este nivel: la célula, los organelos como el núcleo, el cloroplasto, la mitocondria, y muchos otros posibles candidatos ofrecidos por sus proponentes como divisas de cambio. Muchos otros científicos han seguido la dirección opuesta y ampliado el enfoque para incluir, en algunos casos, el conjunto de variables ambientales que rodean a los grupos de organismos. Así, acuñaron nuevos términos para definir esas otras posibles divisas, como la población, la comunidad, el ecosistema y la biosfera.

¿Cuáles son las divisas usadas en la biología moderna? ¿Son estas unidades fundamentales –y los límites que las definen– universalmente aceptadas? ¿Por qué deberíamos seguir interesados en ellas y por qué no?

■ **Límite m. Línea real o imaginaria que separa dos terrenos, dos países, dos territorios.**

Quizá las respuestas a esas preguntas se pueden obtener haciendo un examen de mayor profundidad a una de las divisas biológicas más importantes: la especie. El padre de la taxonomía moderna, Carolus Linnaeus, creó un elaborado marco de referencia llamado *Systema Naturæ* para organizar a los seres vivos. Este sistema del siglo XVIII está basado en el concepto de *especies* y agrupa a éstas en categorías progresivamente mayores, como géneros, familias, órdenes, clases, *phyla* y reinos. El sistema linneano de organización de las especies es todavía una de las referencias estructurales de la biología, con numerosas actualizaciones que ocurren –literalmente– a diario. Este sistema de clasificación taxonómica está edificado sobre una premisa fundamental: el concepto de *especie*.

¿Qué es una especie? Bien, pues ¡depende de a quién le preguntes! Los biólogos han formulado varios conceptos que no son necesariamente equivalentes y se sustentan en diferentes supuestos: tres ejemplos comúnmente utilizados son el concepto de *especie biológica* (CEB), el concepto de *especie filogenética* y el concepto de *especie evolutiva*, entre otros.



Personalmente adopté el CEB como mi favorito desde que estaba estudiando en la facultad. El biólogo evolutivo Ernst Mayr definió a la especie de una manera parsimoniosa y elegante, que –a mi juicio– no dejaba lugar a ninguna duda. Para Mayr, una especie es “un grupo de poblaciones que actual o potencialmente se reproducen entre sí y que están reproductivamente aisladas de otros grupos similares”. Parecía muy sencillo: si un individuo es capaz de reproducirse con otros individuos de su propia población –así como con individuos de otras poblaciones–, entonces el conjunto de individuos que se pueden reproducir entre sí *debe* constituir una especie. Ah, ¡qué bonito es lo claro y preciso! Un límite definitivo entre aquellos que están incluidos y aquellos que no.

¿Y los híbridos entre diferentes especies? Seguro que yo ya sabía de éstos y del hecho de que tales “anomalías” ocurren con cierta frecuencia, pero siempre pensé que éstos eran evolutivamente callejones sin salida, individuos incapaces de producir progenie fértil. Esta excepción me parecía una objeción menor, algo que no amenazaba a mi amado CEB.

Pero lo que me pasó después fue desolador: en 1995 Jonathan Weiner publicó el libro *El pico del pinzón*. Weiner hizo una obra para el público general, en la cual detalla el trabajo a largo plazo de Rosemary y Peter Grant, y sus estudiantes de posgrado en Princeton, quienes estudiaban la dinámica poblacional de varias especies de pinzones de Darwin en las islas Galápagos (véase el Recuadro 1). Cuando terminé de leer el libro de Weiner estaba fascinado por la historia que relata. Los pinzones de diferentes especies coexisten en diferentes islas y se especializan en comer semillas de diferentes tamaños. Encontraron un pinzón pequeño que come semillas pequeñas, uno mediano para las semillas medianas y uno grande con un pico muy robusto para las semillas más grandes y más duras de consumir.

Todo bien con el libro, excepto que Weiner me echó a perder el CEB, uno de mis dogmas favoritos. En sus páginas describió cómo en años de sequía o de mucha lluvia el reparto de recursos entre las especies de pinzones se alteraba de manera dramática

### Recuadro 1. El flujo génico horizontal mezcla a las especies

Los pinzones de Darwin –un grupo de 13 especies de aves que habitan las islas Galápagos en Ecuador– son uno de los grupos más icónicos para el estudio de los procesos de especiación. Se dice que, inspirado en observar la variación de un grupo de aves evidentemente emparentadas, Charles Darwin hizo sus primeras conjeturas sobre el origen de las especies como descendientes de un ancestro común.

La literatura científica está llena de intentos por dilucidar sus relaciones evolutivas y de entender el árbol filogenético que explique sus relaciones. Muchos de estos intentos utilizan una combinación de herramientas moleculares, caracteres morfológicos y aspectos ecológicos para establecer tales relaciones. No obstante, después de siete décadas de investigación (desde David Lack, en 1947) no existe un consenso sobre estas relaciones: en parte, porque el desarrollo de nuevas técnicas de análisis (las más recientes de un poder resolutivo mucho mayor que las anteriores) sigue agregando nuevos detalles a lo que sabíamos de las relaciones entre las especies; por otro lado, porque hasta muy recientemente se ha reconocido que es importante incluir el flujo génico interespecífico como un criterio de gran importancia en la construcción de los árboles filogenéticos (que recientemente se propone denominarlos como arbustos, para explicitar que las ramas de los diferentes linajes se encuentran entrelazados).

En la Figura se ilustran las relaciones que existen entre especies de pinzones de Darwin: el flujo génico horizontal entre algunas de ellas dificulta esclarecer cuál es la relación entre estas especies.

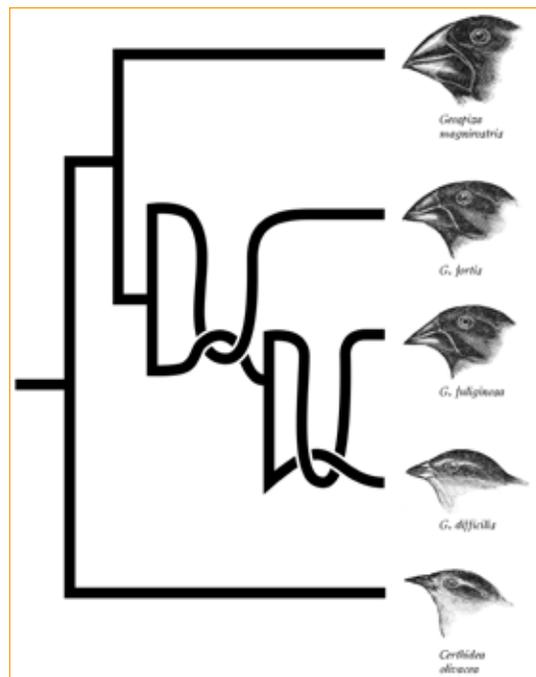


Figura 1. Relaciones entre especies de pinzones de Darwin.



**Presión selectiva**

Procesos de selección natural que operan solamente sobre una parte de la población. Por ejemplo, en una población de ratones sometida a condiciones de frío intenso, la presión selectiva eliminará primero a los individuos pequeños, y aquellos que son más grandes y tolerantes al frío sobrevivirán con relativamente pocos problemas. Si dichas condiciones ambientales se sostienen, a lo largo del tiempo la población de ratones tendrá una talla mayor.

con un cambio direccional en la **presión selectiva** que suprimía a la especie de pico pequeño o a la de pico grande. El aumento de precipitación favorecía la abundancia de semillas pequeñas; consecuentemente, movía la balanza a favor de la presencia de los pinzones de picos pequeños y a la casi desaparición de los pinzones de pico grande, que disponían de pocas semillas grandes. Por el contrario, en años de sequía extrema, sólo los pinzones de picos más robustos sobrevivían y los de picos pequeños casi desaparecían.

Los tres tipos diferentes de pinzones, a través de la hibridación, podían fusionarse en dos (y en años extremos ¡casi en una sola!) de las categorías de pinzón, o bien separarse de manera clara en las tres formas fácilmente distinguibles en respuesta a las oscilaciones en la presión selectiva ejercida por los cambios en la precipitación. Los Grant habían demostrado por años que esas especies de pinzones cercanamente emparentadas podían reproducirse entre sí como respuesta a los cambios en las condiciones ambientales.

**Flujo génico horizontal o interespecifica**

Instancias en las que una especie "pide prestada" diversidad genética de otra especie -que es pariente cercana- para aumentar su propia diversidad genética e incrementar su capacidad para enfrentar el cambio del ambiente.

Resulta que estos incidentes de **flujo génico horizontal** están relativamente extendidos entre las especies. Hasta ese momento yo no sabía nada al respecto.<sup>2</sup>

**Discreto adj.** Separado, distinto; dicho de una magnitud: que toma valores distintos y separados.

El problema, pensé, era sin duda mi elección de concepto de *especie*. Tuve que dejar el CEB y adoptar uno más actual y cuantitativo. Por un tiempo me convertí al concepto de *especie filogenética*, que se basa también en la premisa del aislamiento reproductivo, pero busca otorgarle a ésta un valor de diferenciación genética más allá del cual un grupo de individuos ha cruzado el umbral de viabilidad reproductiva.

<sup>2</sup> Los híbridos como una anomalía... no lo son tanto. Le conté la historia de los pinzones a una amiga botánica y me contestó: "Ah, sí, eso es común entre plantas." Lo dijo de una manera trivial, como si fuera lo más normal. El golpe fatal a mi CEB todavía me hacía eco en la memoria.



¿No sería maravilloso fijar un límite más allá del cual no es posible reproducirse y que separe a las especies en categorías discretas? Por ejemplo, éste podría ser el 2% que nos separa a los humanos de nuestros parientes vivos más cercanos: el chimpancé y el bonobo. Pero aun esa diferencia podría sonarle a algunos como muy burda, y podríamos definir como límite la diferencia de 0.3% que nos separa de nuestro pariente más cercano conocido: el Neanderthal.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Hasta hace poco tiempo se pensaba que no había evidencia de flujo génico entre los humanos modernos y los Neanderthal. Ahora está claramente establecido que sí, y que su descendencia es fértil: los humanos modernos llevan consigo hoy en día un pequeño porcentaje de genes de Neanderthal. De manera que esta diferencia porcentual es demasiado fina para separar a dos especies.



Bueno, al examinar diferentes casos resulta que esta diferencia tampoco funciona. Parece ser que la distancia genética no opera de esa manera. En 1994 Gilles Seutin y sus colaboradores cuantificaron la divergencia en el ADN mitocondrial entre distintas poblaciones de un pájaro llamado **platanero** (*Coereba flaveola*) en diferentes islas del Caribe y en la porción continental de América tropical. En su estudio descubrieron una diferencia muy alta (2.7%) entre las poblaciones. Sin embargo, pese a la gran distancia

genética que existe entre los plataneros de diferentes islas, los taxónomos aún consideran que se trata de una sola especie. No obstante, en una investigación previa el mismo equipo de colaboradores había hecho una síntesis de los estudios en que se estimaba la divergencia al interior de una especie (diferencia intraespecífica), que tenía un rango de 0.2% a 0.9%, y la divergencia entre especies del mismo género (diferencia interespecífica), que variaba de 1% a 7%. Esto es, las diferentes poblaciones del platanero son suficientemente divergentes para ser consideradas especies separadas.

¿Será posible tener una “regla de distancia genética” para determinar las diferencias entre especies según sus taxones? Quizá ésta se podría establecer, pero ¿cuál sería su valor? ¿Es la cantidad o proporción de sustituciones de ADN una forma indiscutible para determinar el potencial que tienen los individuos y las poblaciones para reproducirse? Estas preguntas aún se discuten acaloradamente, pero la posibilidad de una métrica cuantitativa que sea generalmente aceptada es imposible.

Mi creciente (pero todavía algo primitivo) entendimiento de los métodos modernos para construir árboles filogenéticos que ilustran las relaciones evolutivas terminó con mi búsqueda de un límite claro e indiscutible entre las especies. Como si fuera un castillo de naipes, las categorías jerárquicas por encima de la especie súbitamente se convirtieron en artificios aun más débiles y menos naturales, y para mí cayeron en una suerte de cascada inversa detonada desde la especie.

Hace tres o cuatro décadas que los biólogos moleculares hicieron equipo con expertos en estadística e informática para generar árboles filogenéticos robustos que agrupan organismos con base en las secuencias compartidas de su genoma. La construcción de estas filogenias es tan fascinante como complicada. Los árboles organizan cantidades masivas de datos que requieren modelos estadísticos sofisticados, los cuales sólo son posibles hoy en día gracias a los avances en el poder de las computadoras.

En estos árboles, la raíz —en la base— indica una cantidad mayor de ADN compartido; sus ramas se bifurcan en nodos que irradian progresivamente hacia

#### Platanero

Un pájaro de barriga amarilla y pico curvo y afilado, que morfológicamente es muy similar a lo largo de todo el rango de poblaciones.



afuera según se incrementan las diferencias entre familias, órdenes, géneros, especies y categorías más finas. Los árboles tienen ramas terminales de diferente longitud que reflejan que hay un rango bastante amplio de valores por utilizar para definir una especie.

Dichos árboles nos ayudan también a entender las relaciones evolutivas. La popularización de la información filogenética a través de internet constituye otro avance fantástico que ha ayudado a que el público en general pueda entender la naturaleza abstracta del concepto de *especie*. Hoy en día hay varias iniciativas que trabajan en el ensamble de árboles masivos con la información disponible en la literatura y bases de datos especializadas. Una de las características más sorprendentes de estos árboles es que invariablemente son reticulados; es decir, hay ramas que se desprenden de porciones basales de esos árboles –donde las especies más “sencillas”, como las bacterias, se encuentran ubicadas– y que “unen” nuevamente a los organismos multicelulares “superiores”, ubicados en las ramas de posiciones más terminales. Esta característica demuestra que el flujo génico fuera de la especie no se restringe a aquellos linajes cercanamente emparentados –como los pinzones de Darwin–, sino que también existen muchos ejemplos de asociaciones quiméricas de organismos que son familiares muy lejanos.<sup>4</sup>

**Alternativa f. Opción entre dos o más cosas.**

Resulta entonces que la especie es una unidad muy subjetiva. ¿Qué tal buscar divisas con límites discretos a diferentes niveles de organización biológica? El individuo ha sido ofrecido como candidato.

¿Pero qué es un individuo? Uno puede definir con seguridad una garza o una tortuga como una unidad clara y discreta; pero ¿qué tal el caso, por ejemplo, de las palmas? Muchas de sus especies se pueden reproducir de dos maneras diferentes. Una es a través de semillas, así como muchas otras angiospermas;

<sup>4</sup> Personalmente sigo sorprendido por la similitud que existe entre los árboles filogenéticos modernos y aquellos contruidos con la intuición de la sistemática antigua. Deberíamos dar una ovación de pie en reconocimiento a la percepción casi artística de sus autores.

las plántulas combinan el material genético de dos individuos y producen un individuo genéticamente distinto que, eventualmente, y de ir todo bien, se convertirá en una palma de varios metros de alto. ¿Pero qué tal el sistema alternativo para reproducirse por rizomas, clones de una planta inicial que se originan en el sistema de raíces? Las palmas hacen esto con frecuencia, tal y como lo hacen las fresas, los tréboles y muchas otras especies. ¿Dónde trazamos la línea entre lo que distingue a un individuo en pastos, corales duros y otros organismos **clonales** y **coloniales**?

Quizá la mejor divisa es la célula, esa maravillosa unidad independiente. Ésta tiene también la ventaja de estar contenida en sí misma, limitada por una membrana que separa su contenido del mundo exterior. Pero si leemos un poco más, resulta que esta alternativa tampoco funciona: hemos descubierto que las células de ciertos organismos tienen núcleos que migran entre células contiguas para dictar instrucciones de expresión genética en un sitio antes de moverse a otra célula.

En 1966 George Williams, de la Universidad Estatal de Nueva York en Stony Brook, ofreció otro candidato: el gen. Fue el autor británico Richard Dawkins quien más tarde popularizó la idea de que estas secciones discretas de ADN en el genoma de una especie son sin duda la unidad que estamos buscando –una espiral con dos filas de nucleótidos apareados, cuyo propósito es autopropagarse–. Esta idea pareciera genial, pero ha creado bandos enemigos entre quienes la apoyan y otros que desearían echar la propuesta a la basura. La discusión sigue activa.

Si tratamos de encontrar divisas por encima del nivel del organismo, la imagen se torna aún más difusa: las poblaciones, por ejemplo, no son unidades discretas y los individuos pueden moverse libremente entre éstas. Las comunidades no son sistemas funcionales autocontenidos, sino ensambles de especies arbitrariamente definidos por los investigadores. La siguiente categoría hacia arriba, el ecosistema, incluye componentes no vivos. Podríamos hacer búsquedas detalladas en todos los niveles de organización biológica y en cada caso encontraríamos excepciones que destruyen la candidatura de todas sus divisas.

**Clonal**  
Un grupo de células u organismos genéticamente idénticos.

**Colonial**  
Un grupo de organismos que viven juntos. Aunque muchos de ellos pudiesen estar cercanamente emparentados y ser genéticamente muy similares, éstos no son idénticos como los clones.

**Conveniente adj. Útil, oportuno, provechoso.**

¡Qué gran reto! Quizá nuestro deseo excesivo por establecer categorías discretas es responsable de esta situación. Dawkins le llama la “tiranía de la mente discontinua”. Si se nos hubiera enseñado a pensar en el mundo vivo como un continuo, donde las categorías son simplemente aceptadas como abstracciones convenientes que facilitan la comunicación (y que señalan puntos relativamente claros a lo largo de un gradiente), estaríamos menos obsesionados con la definición de estas unidades discretas fundamentales.

Me pregunto si podemos dejar de otorgarle ese lugar central a las categorías artificiales y enfocarnos en otras cuestiones. No deseo terminar este artículo dejando la impresión de que estas divisas no tienen utilidad: sin duda, son cajones artificiales que nos ayudan a intercambiar ideas. Creo que la discusión sobre la precisión del concepto de *especie* –al igual que la de cualquier otra categoría mencionada aquí– debería servir solamente como un refinamiento para ayudarnos a entender un continuo, y no convertirse en un fin en sí.

Mi opinión es que los límites en la biología no existen.

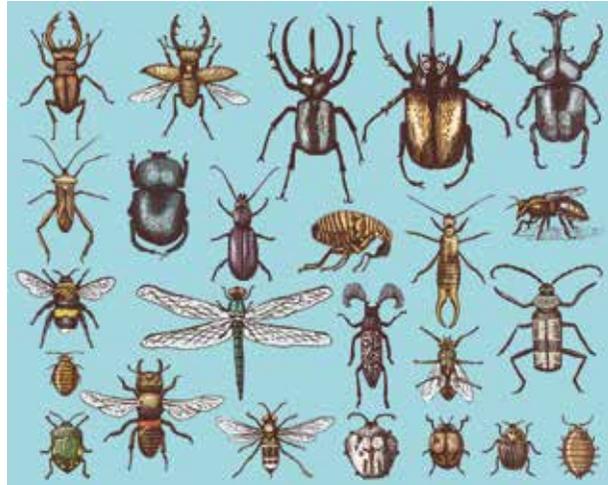
### Agradecimientos

Agradezco a Isabel Ladrón de Guevara por animarme a publicar estas ideas; a ella le dedico este escrito. También, al programa Prodep de la Secretaría de Educación Pública (UV-PTC-868) y al Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (47135) por su apoyo financiero.

### Ernesto Ruelas Inzunza

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana.

ruelas.uv@gmail.com



### Lecturas recomendadas

- Dawkins, R. (1976), *The Selfish Gene*, Londres, Oxford University Press. (Publicado en español como: Dawkins, R. (1976), *El gen egoísta*, Bogotá, Editorial Salvat Ciencia.)
- Drummond, A. J. *et al.* (2012), “Bayesian phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7”, *Molecular Biology and Evolution*, 29:1969-1973.
- Grant, P. R. (1999), *Ecology and Evolution of Darwin’s Finches*, Princeton, Princeton University Press.
- Lamichhaney, S. *et al.* (2015), “Evolution of Darwin’s finches and their beaks revealed by genome sequencing”, *Nature*, 518:371-375.
- Ottenburghs, J. *et al.* (2016), “Birds in a bush: Toward an avian phylogenetic network”, *The Auk*, 133: 577-582.
- Seutin, G. *et al.* (1993), “Genetic divergence among populations of a tropical passerine, the Streaked Saltator (*Saltator albicollis*)”, *The Auk*, 110:117-126.
- Seutin, G. *et al.* (1994), “Historical biogeography of the Bananaquit (*Coereba flaveola*) in the Caribbean region: a mitochondrial DNA assessment”, *Evolution*, 48: 1041-1061.
- Wiener, J. (1995), *The Beak of the Finch*, Nueva York, Vintage Books. (Publicado en español como: Wiener, J. (2002), *El pico del pinzón: una historia de la evolución en nuestros días*, Madrid, Círculo de Lectores Editores.)

Marco Antonio Espinosa Trujillo, Luis Mendoza Ramírez y Elizabeth Ojeda Velasco

# Distribución de las remesas en Oaxaca

Investigamos la importancia de las remesas en las regiones del estado de Oaxaca, ante el actual escenario de incertidumbre debido a las medidas tomadas por el gobierno de Estados Unidos. Se determinó que, en caso de disminuir las remesas, la región más afectada sería la de Valles Centrales. Sin embargo, enfrentar ese reto puede ser una oportunidad para el desarrollo de dicha región, siempre y cuando se generen estrategias endógenas que aprovechen las capacidades de los repatriados.

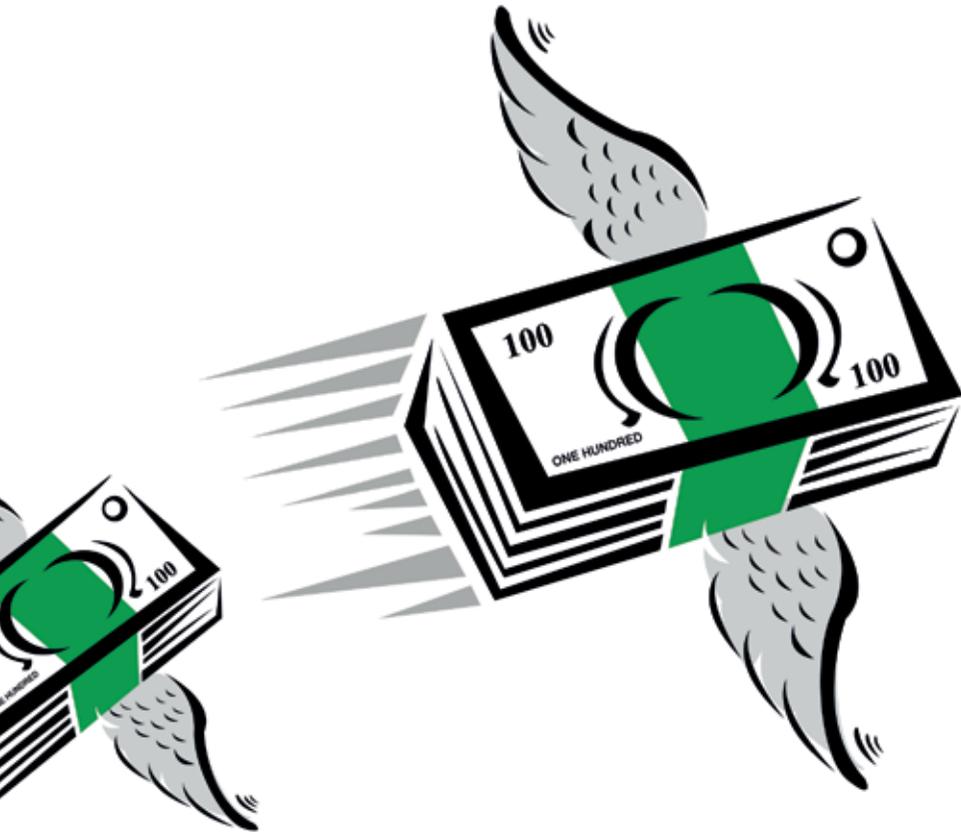
## Los migrantes y las remesas

Según los datos del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Organización de las Naciones Unidas, en 2015 vivían en Estados Unidos de América (EUA) 46 600 000 migrantes, de los cuales 25.4% eran de origen mexicano. *La Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica*, realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), muestra que de los 719 000 mexicanos que migraron durante el periodo de 2009 a 2014, 86.3% fue a EUA, 2.2% a Canadá, 2.1% a España y el restante 9.4% a otros países del mundo. La misma encuesta muestra que 56% de los migrantes a EUA lo hicieron con documentos y el resto, de manera indocumentada.

Sin haber distinción por la forma de ingreso a EUA, los migrantes eventualmente envían remesas a sus familiares en nuestro país. Los reportes del Banco de México (Banxico) exhiben que, del total de remesas recibidas a nivel nacional durante 2016, que sumaron 26 970 300 000 dólares, una parte importante se distribuyó entre Michoacán (10.2%), Jalisco (9.3%), Guanajuato (9%), Estado de México (6%), Puebla (5.4%) y Oaxaca (5.3%); es decir, seis entidades concentraron 45.2% de las remesas totales.



De 2009 a 2010 el envío de remesas permaneció prácticamente sin cambios (véase la Figura 1); no obstante, en el periodo de 2009 a 2015 incrementaron 16.3%. Si se consideran las remesas de 2016 a un tipo de cambio promedio de 18.70 pesos por dólar, que reportó Banxico para ese año, el país recibió 504 344 610 000 pesos. Al comparar esta cifra con el egreso aprobado para Prospera ese mismo año, de 82 166 700 000 pesos –el presupuesto del programa federal más importante para el combate a la pobreza en México–, éste representó únicamente 16.3% del monto de las remesas.



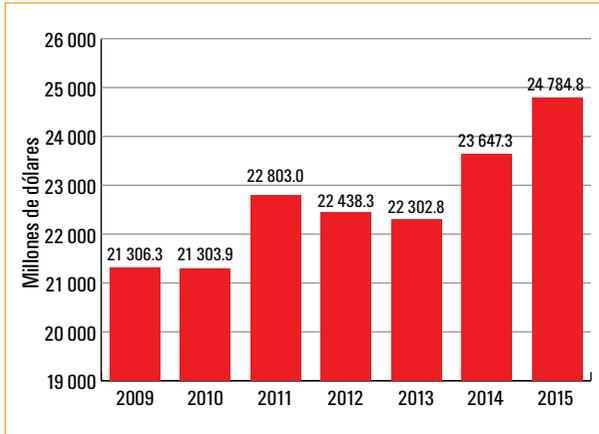


Figura 1. Remesas familiares provenientes del extranjero de 2009 a 2010, reportadas por Banxico.

### ■ La repatriación de los mexicanos

■ La repatriación de mexicanos desde EUA no es un tema novedoso. El número acumulado de migrantes retornados en el periodo de 2009 a 2015 ascendió a 2 600 000 personas. Esta cifra muestra la “capacidad repatriadora” de mexicanos que tiene el gobierno estadounidense. Con una cifra de 12 000 000 de mexicanos que residen en EUA, reportada por el Consejo Nacional de Población y la Fundación BBVA Bancomer (2015), y bajo el supuesto de que el nuevo muro fronterizo impida que esta cantidad se incremente, se necesitarían aproximadamente 32 años para repatriar a todos los migrantes mexicanos. Lo anterior, tomando en cuenta que durante siete años se registró un promedio de 376 000 eventos de repatriación cada año. No obstante, cabe considerar la posibilidad de que el gobierno estadounidense incremente su capacidad económica, humana y tecnológica para aumentar la eficiencia de tales procesos.

En México, el estado más afectado por los eventos de repatriación desde EUA realizados durante 2015 fue Oaxaca. En la Figura 2 se observa que 33.5% de las repatriaciones involucró a personas de cuatro estados (Oaxaca, Michoacán, Guerrero y Guanajuato), tal como lo reporta la Unidad de Política Migratoria de la Secretaría de Gobernación (SEGOB). Al respecto, el Consejo Nacional de Población reporta que de 2009 a 2014 los estados con el mayor porcentaje de migrantes sin documentos para ingresar a EUA fueron: Oaxaca (89.4%), Guerrero (75%) y

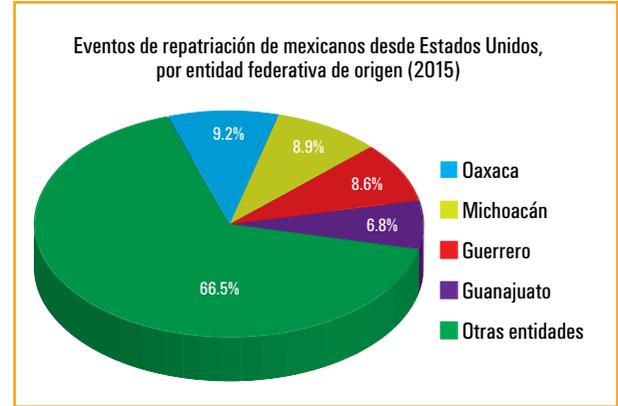


Figura 2. Los eventos de repatriación mostrados en este gráfico no excluyen la posibilidad de un mismo individuo que haya sido repatriado más de una vez.

Chiapas (73.8%), con respecto al total de los migrantes de cada uno de esos estados. En contraste, las entidades con mayor porcentaje de emigrantes con documentos que ingresaron a EUA son: Nuevo León (94.1%), Coahuila (89.9%) y Chihuahua (89.8 por ciento).

Los reportes recientes de la Unidad de Política Migratoria de la SEGOB muestran que de enero a junio de 2017 en todo el país se registraron 74 037 eventos de repatriación de adultos, con 91.4% de hombres y 8.6% de mujeres. De todos estos casos, 6.4% fueron repatriaciones de personas de origen oaxaqueño. Las mismas cifras revelan que entre los oaxaqueños repatriados (4 035 hombres y 717 mujeres), 31% corresponde originariamente a Valles Centrales; esto la convierte en la región con mayor número de migrantes repatriados en Oaxaca, con 1 262 hombres y 213 mujeres: un total de 1 475 repatriaciones (véase la Tabla 1).

Este fenómeno tiene implicaciones importantes en la agenda pública estatal, principalmente en temas como la integración de los migrantes retornados en sus comunidades de origen o la dotación de servicios y de empleos.

### ■ Actividades principales en las regiones de Oaxaca

■ Oaxaca es el estado con el mayor número de municipios en el país; se compone de 570 municipios

**Tabla 1.** Distribución geográfica de los eventos de repatriación de enero a junio de 2017, referida a personas originarias de los siete distritos que componen la región Valles Centrales, en Oaxaca.

Distrito	Hombres		Mujeres		Total
	Número	%	Número	%	
Etla	89	83	18	17	107
Zaachila	34	90	4	10	38
Zimatlán	53	87	8	13	61
Centro	825	85	145	15	970
Tlacolula	106	92	9	8	115
Ejutla	89	77	26	23	115
Ocotlán	66	96	3	4	69
<b>Total de la región Valles Centrales</b>	<b>1 262</b>	<b>86</b>	<b>213</b>	<b>14</b>	<b>1 475</b>

Fuente: Elaboración propia, con datos de la Unidad de Política Migratoria de la SEGOB.

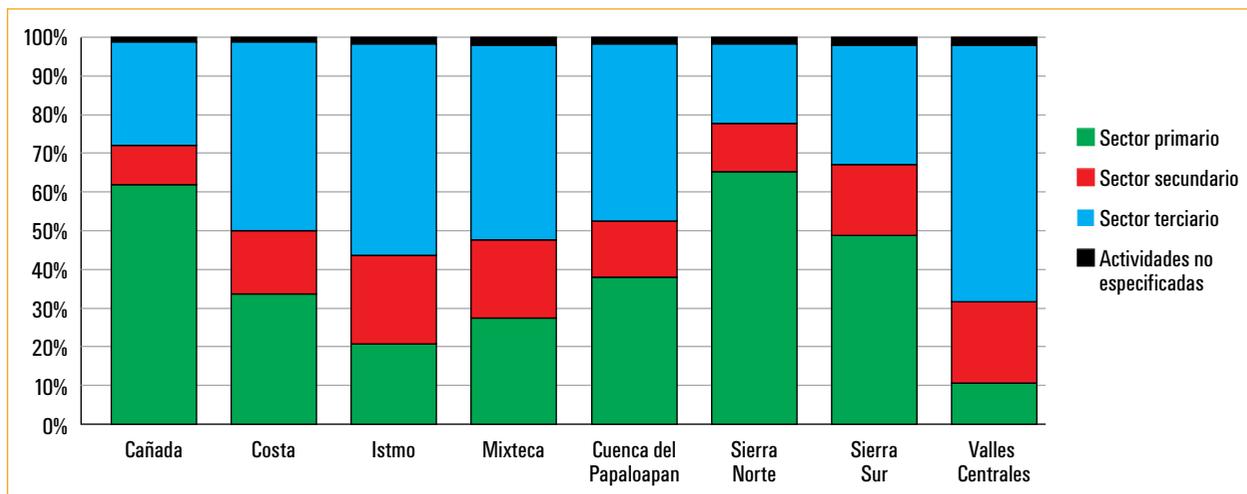
agrupados en distritos, y éstos, a su vez, en ocho regiones: Cañada, Costa, Cuenca del Papaloapan, Istmo, Mixteca, Sierra Norte, Sierra Sur y Valles Centrales. El Inegi reporta que en Oaxaca la **población ocupada** asciende a 1 200 000 personas, que principalmente se distribuyen en las regiones: Valles Centrales (34.2%), Istmo (15.7%), Costa (14%) y Cuenca del Papaloapan (12.1%); el restante 24% corresponde a las regiones Cañada, Mixteca, Sierra Norte y Sierra Sur.

De la población ocupada en el estado de Oaxaca, 27.2% realiza sus actividades en el sector primario (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, entre

otras), 18.8% en el secundario (industria y construcción) y 52.5% en el terciario (servicios: comercio, banca, administración, administración pública y turismo, entre otras); el restante 1.5% no está especificado. Los habitantes de las regiones Cañada, Sierra Norte y Sierra Sur se ocupan primordialmente en el sector primario (62.2%, 65.4% y 49.3%, respectivamente). En las regiones Costa, Cuenca del Papaloapan, Istmo, Mixteca y Valles Centrales, principalmente se ocupan en el sector terciario (48.9%, 50.6%, 54.7%, 46.1% y 66.6%, respectivamente) (véase la Figura 3). No todas las regiones presentan la misma estructura productiva, lo cual tiene una

#### Población ocupada

Las personas de 15 años o más, vinculadas a una actividad económica o de trabajo.



**Figura 3.** Población ocupada según el sector de actividad económica en las ocho regiones de Oaxaca durante 2015. El sector primario se muestra en verde, el secundario en rojo y el terciario en azul; el color negro muestra actividades no especificadas.



fuerte incidencia en las necesidades específicas de cada una en cuanto a la generación de empleos; esto representa un reto al momento de incentivar aquellas actividades que podrían desempeñar los migrantes retornados.

■ **Distribución de las remesas en el estado de Oaxaca**

■ La Tabla 2 resume cómo se distribuyeron en 2016 las remesas en las ocho regiones del estado de Oaxaca y sus respectivos distritos. También permi-

**Tabla 2.** Distribución de las remesas y el presupuesto en cada región y distrito del estado de Oaxaca (2016).

Región	Distritos	Número de municipios	Remesas		Presupuesto	
			Millones de pesos	%	Millones de pesos	%
Cañada	Cuicatlán	20	43	< 1	198	2
	Teotitlán	25	97	< 1	569	5
Costa	Jamiltepec	24	1 865	7	559	5
	Juquila	12	2 330	9	420	4
	Pochutla	14	761	3	725	6
Istmo	Juchitán	22	954	4	934	8
	Tehuantepec	19	418	2	617	5
Mixteca	Coixtlahuaca	13	5	0	46	0
	Huajuapán	28	2 386	9	414	4
	Juxtlahuaca	7	1 103	4	251	2
	Nochixtlán	32	309	1	248	2
	Silacayoápam	19	333	1	120	1
	Teposcolula	21	143	< 1	107	< 1
	Tlaxiaco	35	1 250	5	418	4
Cuenca del Papaloapan	Choápam	6	11	0	191	2
	Tuxtepec	14	1 316	5	1 199	10
Sierra Norte	Ixtlán	26	250	< 1	124	1
	Mixe	17	196	< 1	416	4
	Villa Alta	25	139	< 1	124	1
Sierra Sur	Miahuatlán	32	1 117	4	466	4
	Putla	10	1 441	5	284	2
	Sola de Vega	16	214	< 1	315	3
	Yautepec	12	82	< 1	121	1
Valles Centrales	Centro	21	6 002	23	1 542	13
	Ejutla	13	737	3	142	1
	Etla	23	299	1	347	3
	Ocotlán	20	532	2	250	2
	Tlacolula	25	1 386	5	387	3
	Zaachila	6	71	< 1	157	1
	Zimatlán	13	743	3	178	2
<b>Total</b>		<b>570</b>	<b>26 531</b>	<b>100</b>	<b>11 872</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia, con datos del Banco de México y de la Secretaría de Finanzas del estado de Oaxaca.

te comparar las cifras con el presupuesto de egresos municipales de cada lugar. Por ejemplo, la región Cañada concentra 8% del total de municipios que hay en el estado, mientras que recibe un presupuesto que representa 7% del monto total destinado a los municipios; a su vez, recibe menos de 1% de las remesas internacionales. Se trata de una región donde 62% de la población desempeña labores en el sector primario.

En contraste, una región donde la población ocupada realiza actividades primordialmente en el sector terciario (66.6%), la de Valles Centrales, ejerce 25% del total del presupuesto para los municipios y es la que recibe más recursos por concepto de remesas (37%). Destaca el distrito Centro, con 23% de las remesas a nivel estatal y 61% de las que corresponden a dicha región. Asimismo, la Mixteca es la segunda con mayor captación de remesas en el estado (21%). Destaca el distrito de Huajuapán, con 9% a nivel estatal y 43% de las remesas dentro de la región.

Por otra parte, los hogares de la región del Istmo recibieron 13% del presupuesto y 6% de las remesas.

En los 40 municipios que componen dicho territorio, 62% de la población está ocupada en el sector primario. La Sierra Norte y la Sierra Sur, compuestas por 138 municipios (24% de la entidad), en conjunto ejercieron 16% del presupuesto total del estado y recibieron 13% de las remesas durante 2016. Estas regiones se caracterizan por su amplia vegetación arbórea, por lo que la población ocupada se desempeña primordialmente en el sector primario. La región Cuenca del Papaloapan recibe 12% del presupuesto estatal y 5% de las remesas. Su perfil productivo se inclina hacia el sector terciario (46%) y el primario (38 por ciento).

Finalmente, la región Costa está compuesta por 50 municipios, lo equivalente a casi 9% del total en el estado; sus pobladores se ocupan dentro del sector terciario (49%) y primario (34%). Esta región sólo capta 15% del presupuesto total asignado a los municipios y 19% de las remesas.

#### ¿Cómo incorporar a los potenciales migrantes deportados?

Es importante considerar la proporción de migrantes que laboran en los sectores secundario y terciario al momento de idear soluciones que permitan absorber, en el ámbito local, las posibles repatriaciones. En esa línea, la descripción ocupacional permite comparar los diferentes perfiles productivos de las regiones de Oaxaca *versus* la importancia de las remesas; y, a su vez, prever el impacto de la repatriación en el empleo. De acuerdo con la información del Consejo Nacional de Población y la Fundación BBVA Bancomer (2016), las principales actividades que desarrollan los migrantes varones en EUA son en la industria de la construcción, en el sector secundario (25.7%), mientras que las migrantes se desempeñan principalmente en los servicios de hotelería y esparcimiento, del sector terciario (19.8 por ciento).

Como se indicó en párrafos anteriores, la región Valles Centrales recibió 37% de las remesas durante 2016 y 31% de los repatriados oaxaqueños en el primer semestre de 2017. Esto indica la importancia





de las remesas para dicha región, pero también implica la actuación de las políticas públicas orientadas a los migrantes que retornan y buscan emprender un negocio o tener opciones de trabajo. Al respecto, la Encuesta Intercensal del Inegi muestra que 37% de la población ocupada de la región se dedica al comercio de bienes y servicios; 22% trabaja en la industria; 30% son profesionistas y trabajadores administrativos; y el restante 11% son trabajadores agropecuarios. Lo anterior brinda un panorama mayor sobre el campo laboral al que se enfrentarían los repatriados.

La migración puede generar dos tipos de activos: capital humano y capital físico (Cobo, 2008). El primero se refiere a que los migrantes están en contacto con otros estilos de vida, aprenden el idioma, tienen prácticas de trabajo diferentes y nuevas calificacio-

nes laborales; esto significa que pueden aportar dichas habilidades e impactar en el empleo al retornar a México. En cuanto al capital físico, las remesas proveen recursos directos para establecer negocios y proyectos comerciales o servir como una fuente de financiamiento para las actividades económicas de los mismos repatriados. Es necesario enfatizar que ambos capitales pueden utilizarse para generar estrategias de **desarrollo endógeno** en las regiones de Oaxaca.

Lo anterior, además, implica que los sistemas productivos no están integrados únicamente por factores materiales, sino que también comprenden elementos inmateriales, como la educación y el aprendizaje (Vázquez, 1999; Casanova, 2004). Por ejemplo, una vez identificado el perfil productivo de

**Desarrollo endógeno**

Desarrollo en un territorio dados sus recursos propios, tales como los económicos, institucionales, sociales, culturales y naturales.

la región Valles Centrales y teniendo evidencia de que los recursos generados por los migrantes fortalecen los sistemas productivos locales de esa región (Ríos y Kumar, 2012), se puede suponer que las remesas recibidas se destinarán a actividades emprendedoras relacionadas con la prestación de servicios.

El conocimiento de las labores que realizan los migrantes en EUA representa una ventaja al momento de diseñar estrategias para enfrentar el desempleo que podría significar la repatriación de los connacionales. Por lo general, al regresar a sus lugares de origen, los migrantes transmiten los conocimientos y las habilidades que adquirieron por su experiencia laboral en el extranjero, lo que impulsa la innovación de los procesos productivos tradicionales. Además, también pueden implementar lo aprendido al establecer sus propios negocios (Saxenian, 2005). Por ejemplo, los conocimientos y las habilidades que adquieren los migrantes de Santiago Matatlán, en la región Valles Centrales de Oaxaca, los llevan a innovar los procesos tradicionales de producción de mezcal y también a iniciar sus propios palenques (Ríos y Kumar, 2012). Esto no sólo mejora su situación económica personal, sino que también ayuda a impulsar el desarrollo local.

#### Marco Antonio Espinosa Trujillo

NovaUniversitas, Oaxaca.  
marco\_trujillo@outlook.com

#### Luis Mendoza Ramírez

NovaUniversitas, Oaxaca.  
coatlihuc@hotmail.com

#### Elizabeth Ojeda Velasco

NovaUniversitas, Oaxaca.  
elyizabeth.ov@gmail.com

#### Lecturas recomendadas

- Casanova, F. (2004), *Desarrollo local, tejidos productivos y formación: abordajes alternativos para la formación y el trabajo de los jóvenes*, Montevideo, Cinterfor.
- Cobo, S. (2008), “¿Cómo entender la movilidad ocupacional de los migrantes de retorno? Una propuesta de marco explicativo para el caso mexicano”, *Estudios Demográficos y Urbanos*, 23:159-177.
- Consejo Nacional de Población y Fundación BBVA Bancomer (2015), *Anuario de migración y remesas, México 2016*, México, Conapo-Fundación BBVA, Bancomer-BBVA Research.
- Ríos, M. y Kumar, A. (2012), “Reorientación productiva de los migrantes: el caso de Santiago Matatlán, Oaxaca”, *Migración y Desarrollo*, 10:92-116.
- Saxenian, A. (2005), “From brain drain to brain circulation: transnational communities and regional upgrading in India and China”, *Studies in Comparative International Development*, 40:35-61.
- Vázquez Barquero, A. (1999), *Desarrollo, redes e innovación. Lecciones sobre Desarrollo Endógeno*, Madrid, Ediciones Pirámide.



Mauricio Gómez Hernández, Cecilia Mónica Rodríguez García y Leticia Peraza Echeverría

# Arribazones de **macroalgas marinas**: un tesoro del mar

Las macroalgas marinas han contribuido en el desarrollo de la humanidad. Civilizaciones antiguas las colectaban *in situ* o en arribazones, y las aprovechaban para alimentos, medicinas y fertilizantes. Hoy se comercializan a nivel mundial productos derivados de macroalgas. En México su explotación es escasa, pero podrían ser una fuente de productos innovadores para la agricultura.

**E**n época de huracanes, tormentas tropicales y nortes, el mar arroja a las costas miles de macroalgas; este fenómeno recurrente es conocido como arribazón. Se cubren casi por completo las hermosas playas, lo que impide el paso de las personas y afecta a los habitantes de la zona costera que dependen del turismo; debido al aspecto y a los olores que despiden las algas al descomponerse, se provo-



can grandes pérdidas económicas. Sin embargo, las macroalgas de los arribazones guardan un tesoro, pues podrían significar un gran recurso económico potencial para México.

Los arribazones se relacionan con las corrientes marinas y el arrastre de las macroalgas ocasionados por los fenómenos meteorológicos arriba mencionados (Dreckmann y Sentíes, 2013). Esto es, una amplia variedad de especies de macroalgas de poblaciones naturales fijadas a un sustrato se ven desprendidas, en partes o en su totalidad, para posteriormente depositarse en las playas. Incluso especies de masas flotantes como los **sargazos** (*Sargassum fluitans*, *S. hystrix* y *S. natans*) llegan en grandes cantidades.

Las macroalgas marinas que son arrojadas por los arribazones se parecen a las plantas, ya que realizan la fotosíntesis (producen su propio alimento), aunque se diferencian de éstas porque carecen de raíz, tallo y hojas, y en su lugar desarrollan estructuras llamadas disco de fijación, talo y filoides, respectivamente. Las macroalgas tienen una amplia distribución en los océanos y mares; las encontramos en todas las costas, desde la playa hasta profundidades de 200 metros. Son clasificadas de acuerdo con su color: rojas (Rhodophyta), verdes (Chlorophyta) y cafés (Ochrophyta). Finalmente, se definen como macroalgas por su tamaño; es decir, mayores a 1 cm y hasta 60 m, como la especie *Macrocystis pyrifera*, que es de color café y puede formar grandes bosques submarinos que miden decenas de hectáreas.

#### Sargazos

Macroalgas marinas flotantes (especies del género *Sargassum*).

#### Las macroalgas marinas en el pasado y el presente

La obtención de las macroalgas marinas desde tiempos remotos se ha realizado mediante: 1) colecta *in situ* (al bajar la marea o buceando); 2) colecta de arribazones (temporales); y 3) cosecha de cultivo en granjas acuícolas. Aunque los reportes más antiguos poco mencionan sobre la obtención de estas macroalgas, se cree que principalmente era *in situ* o en cosecha, y que, por su fácil acceso, también se





han colectado las algas de arribazón en determinadas épocas del año. A continuación presentamos un breve resumen histórico sobre la utilidad que tienen las macroalgas marinas para el ser humano, independientemente de su método de obtención.

Desde la prehistoria la especie humana ha consumido macroalgas; de hecho, es probable que éstas tuvieran un papel importante en el desarrollo cerebral (Cornish y cols., 2017). En la antigua Grecia las macroalgas marinas eran alimento para humanos y animales, e incluso medicamento. En Japón y en China también se consumen desde los siglos IV y VI, respectivamente; algunas especies muy comunes en la gastronomía oriental inicialmente se colectaron de vida silvestre, pero hoy en día, debido a su gran valor comercial, se cultivan en grandes extensiones, como el kombu (*Laminaria* sp.), el nori (*Porphyra*) y el wakame (*Undaria pinnatifida*). En la medicina tradicional china las macroalgas como el *Sargassum* sp. se recomendaban para el tratamiento de diversos males, como bocio, dolor de garganta e inflamación. Por otra parte, los vikingos de los siglos VIII al XI consumían el alga roja *Palmaria palmata*; también la colectaban para alimentar a los animales y fertilizar los cultivos agrícolas. Del siglo XIII al XVIII en las costas del norte de Francia se colectaban algas marinas, como las del género *Fucus*, ya fuera *in situ* o también de arribazón durante la época de tempestades; servían como abono, alimento para animales y humanos, así como combustible en lugar de leña (Mauriès, 1874-1875). También se empleaban en la industria del salitre, la extracción de sosa y la producción de vidrio.

La leyenda del descubrimiento del agar se sitúa en Japón en el siglo XVII. El posadero Tarozaemon Minoja dejó las sobras de una sopa de algas marinas del género *Gelidium* (Tokoroten) a la intemperie, la sopa se congeló durante la noche y se convirtió en una masa gelatinosa, al día siguiente se descongeló y se deshidrató; y así durante varios días hasta secarse por completo. De esta manera surgió una técnica para extraer y comercializar el agar seco, el cual después recibiría el nombre de *kanten*, que significa cielo congelado. Este producto se utilizó en la confitería y en platillos tradicionales. Un siglo después Hambei



Kanten.

Miyata mejoró la técnica de elaboración del agar —que había aprendido de la familia Minoja— e inició su comercialización en Japón (Armisen, 1995).

En el siglo XIX el químico francés Anselme Payen introdujo el agar a Occidente en una reunión celebrada en la Academia de Ciencias de París. Años después el microbiólogo alemán Robert Koch aprovecharía este producto en el cultivo de bacterias. Fue así como el agar se volvió fundamental para la medicina, la biotecnología y otras ciencias. Adicionalmente, en Francia el químico Bernard Courtois descubrió el yodo a partir de las cenizas de macroalgas; desde el siglo XX se utiliza en el tratamiento del hipotiroidismo, la curación de heridas, el revelado de fotografías y como colorante en microbiología; también se ha empleado para hacer llover y regar los cultivos en lugares secos, mediante el bombardeo de las nubes con yoduro de plata. Asimismo, desde inicios del siglo pasado se han extraído otras sustancias —como la carragenina y el alginato— a partir de las macroalgas marinas.

Las sustancias extraídas (ficocoloides) de las macroalgas hoy destacan en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica como gelificantes y espesantes; están clasificados con la denominación europea E400 a E407, lo cual significa que la inocuidad de dichas sustancias ha sido evaluada y se ha definido la ingesta diaria aceptable. Éstas se encuentran presentes en productos cotidianos: alimentos, lácteos, helados, aclarantes de cervezas, pastas dentífricas, jabones, champús, cosméticos, cremas, perfumes, me-

**Agar**  
Polisacárido con consistencia gelatinosa.

dicamentos, tratamientos antivirales, apósitos, espesantes en la industria textil y fertilizantes, entre muchos más.

En cuanto a las investigaciones más recientes sobre el uso de macroalgas marinas de arribazones, se han reportado estudios para la producción de biodiesel a partir de *Fucus spiralis* y *Pelvetia canaliculata*; también se ha explorado la elaboración de harinas a partir del alga *Sargassum* sp. y la producción láctea con otras especies; asimismo, la elaboración de fertilizantes y compostas, la obtención de **polisacáridos** como el fucoídano, y de antimicrobianos, antioxidantes, antifúngicos, antivirales, antiinflamatorios y neuroprotectores, con la respectiva valoración para su aprovechamiento.

### ¿Qué pasa en México con las macroalgas de los arribazones?

En México la industria de las macroalgas de arribazones aún se encuentra subexplotada, a pesar de que

los recursos provenientes de las macroalgas podrían ser una rica fuente de compuestos con actividades biológicas. En este ramo es necesario fomentar las empresas ecoamigables en diversas regiones del país. Aunque se han realizado algunas investigaciones sobre el aprovechamiento de las macroalgas marinas de los arribazones, entre las cuales se encuentran la búsqueda de propiedades **cosmecéuticas** (Rodríguez, 2016), para consumo humano y animal (Casas-Valdez y cols., 2006) y para uso agrícola (Ruiz-Espinoza y cols., 2016), los trabajos realizados siguen siendo insuficientes. Actualmente se desconocen muchos aspectos de la biología, distribución, ciclo de vida y especies que componen los arribazones; así como de su abundancia, la temporalidad y la cantidad de biomasa arrojada.

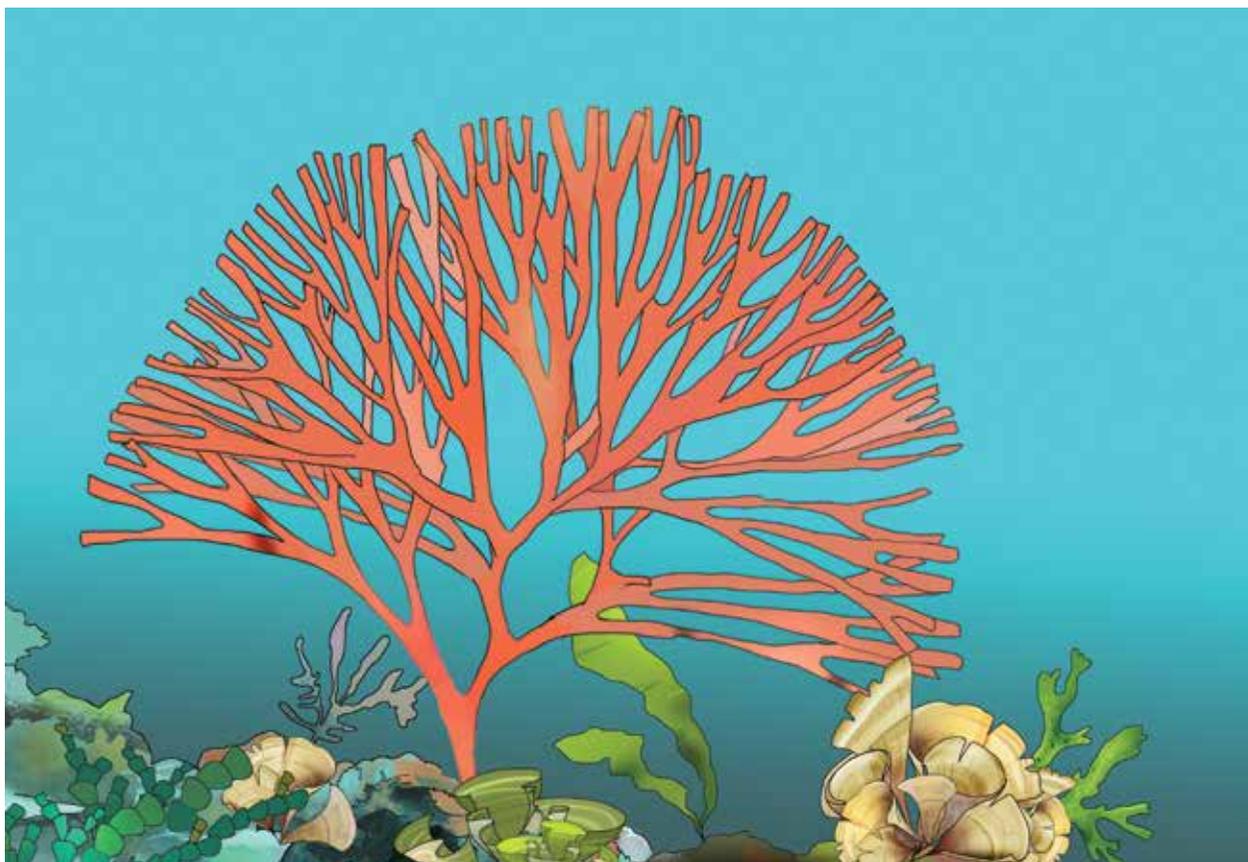
Las empresas mexicanas que fabrican productos derivados de macroalgas marinas de arribazones son muy pocas. Tecniprosos Biológicos elabora fertilizantes a partir de estos recursos; mientras que Algas y Extractos del Pacífico Norte colabora con institu-

#### Cosmecéuticas

Cosméticos con propiedades benéficas.

#### Polisacáridos

Grandes moléculas formadas por la unión de azúcares simples (e.g. celulosa, almidón).





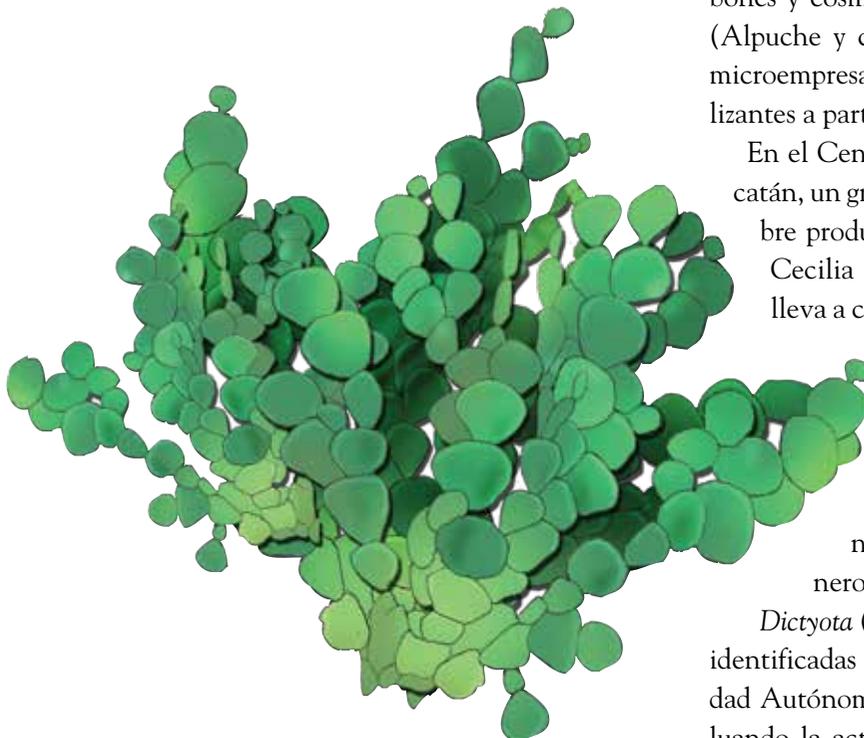
**Tabla 1.** Uso en México de las macroalgas marinas de arribazón.

Especie	Nombre común	Tipo de alga	Usos	Referencia
<i>Halymenia</i> sp.	-	Alga roja	Elaboración de cosméticos	Alpuche <i>et al.</i> , 2016
<i>Macrocystis pyrifera</i>	Sargazo gigante	Alga café	Elaboración de fertilizantes	Tecniprosesos Biológicos
<i>Sargassum</i> sp.	Sargazo común	Alga café	Elaboración de fertilizantes	Comunicación personal, gerente Salgax®

ciones de educación superior para aprovechar estos recursos en el sector agropecuario. Estas empresas se encuentran en el estado de Baja California, debido a la riqueza en la región de especies como *M. pyrifera*, que también se encuentra en los arribazones (Kirkman y Kendrick, 1997).

Aunque en nuestro país sólo se han aprovechado las macroalgas marinas en dicha zona, existen otros lugares en el mundo donde su aprovechamiento es masivo. Por ejemplo, la especie *Durvilleae potatorum* de arribazón se exporta desde Tasmania (Kelp Industries Pty Ltd Tasmania) hasta Reino Unido para extraer **alginatos**; industrias como Roko, Hispanagar y Agar de Asturias se dedican a la producción de agar a partir de la compra de la especie *Gelidium corneum* recolectada de arribazones, *in situ* o cultivada.

**Alginatos**  
Polisacáridos que se extraen de las algas café.



### Los arribazones de macroalgas marinas en Yucatán

En la costa yucateca los arribazones de macroalgas son más frecuentes en la época de nortes (noviembre a febrero). Algunos géneros que se han identificado por su gran abundancia son *Sargassum* sp. (alga café), *Halymenia* sp. y *Bryothamnion* sp. (algas rojas). Aunque se han tomado medidas para disminuir los inconvenientes causados por los arribazones –como el programa de empleo temporal del gobierno federal que ha ofrecido trabajo a cerca de 4600 personas para el retiro y el manejo de los recursos algales en el estado de Yucatán–, es necesaria la investigación, el desarrollo de productos y la creación de empresas que aprovechen estos recursos en la región. Por ejemplo, en 2015 un grupo de mujeres de la comunidad de Sinanché, Yucatán, produjo champús, jabones y cosméticos a partir de macroalgas marinas (Alpuche y cols. 2016), y actualmente existe una microempresa yucateca (Salgax®) que elabora fertilizantes a partir de dicho recurso.

En el Centro de Investigación Científica de Yucatán, un grupo de trabajo realiza investigación sobre productos naturales. Entre ellos, la doctora Cecilia Mónica Rodríguez García y su equipo lleva a cabo la búsqueda de compuestos naturales de origen vegetal de la costa yucateca, y recientemente de origen marino a partir de macroalgas obtenidas de arribazones, como algunas especies procedentes de poblaciones naturales fijadas a sustratos de los géneros *Codium*, *Agardhiella*, *Bryothamnion* y *Dictyota* (datos no publicados), las cuales fueron identificadas por personal calificado de la Universidad Autónoma de Yucatán. Asimismo, se está evaluando la actividad fungicida de extractos acuosos

de macroalgas marinas de arribazón contra patógenos que producen enfermedades en cultivos de importancia comercial, como plátano, mango, tomate, papaya, chile y aguacate, entre otros; la finalidad es ofrecer a los agricultores, en un futuro, productos biotecnológicos ecoamigables.

En nuestro país, el aprovechamiento de las macroalgas de arribazón –un recurso gratuito– dependerá de una política gubernamental que permita establecer programas permanentes para la organización, la capacitación de personal y el desarrollo de empresas que elaboren productos biotecnológicos (sin deterioro del ambiente); así como de una fuerte inversión de capital público y privado.

### Agradecimientos

Los autores agradecen especialmente al revisor de la revista *Ciencia* por sus atinados comentarios; a Felipe Barrero por su apoyo en las colectas de macroalgas marinas; a Silvia Hernández por su apoyo en la preparación de los ejemplares para el herbario; a Dayre Catzim, Tomás Rodríguez, Roger Sulub, Erick y Ricardo Peraza por su apoyo en la revisión del artículo.

### Mauricio Gómez Hernández

Universidad Autónoma de Yucatán.  
mauricio.gomez@cicy.mx

### Cecilia Mónica Rodríguez García

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.  
koyi@cicy.mx

### Leticia Peraza Echeverría

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.  
lety@cicy.mx



### Lecturas recomendadas

- Alpuche, V., Santos, F. J. y Luit, G. M. (2016), “Elaboración de productos cosméticos con algas marinas por mujeres emprendedoras del Municipio de Sinanché, Yucatán, México”, *Bioagrobiocencias*, 9(1):7-16.
- Armisen, R. (1995), “World-wide use and importance of *Gracilaria*”, *Journal of Applied Phycology*, 7(3): 231-243.
- Casas-Valdez, M. et al. (2006), “Efecto del alga marina *Sargassum spp.* sobre las variables productivas y la concentración de colesterol en el camarón café, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900)”, *Revista de biología marina y oceanografía*, 41(1):97-105.
- Cornish, M. L., Critchley, A. T. y Mouritsen, O. G. (2017), “Consumption of seaweeds and the human brain”, *Journal of Applied Phycology*, 29(5): 2377-2398.
- Dreckmann, K. M. y Sentías, A. (2013), “Los arribazones de algas marinas en el Caribe mexicano: evento biológico natural o basura en las playas”, *Biodiversitas*, 107:7-11.
- Kirkman, H., y Kendrick, G. A. (1997), “Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach-cast macro-algae and seagrasses in Australia: a review”, *Journal of Applied Phycology*, 9(4):311-326.
- Mauriès, M. (1874-1875), “Recherches historiques et littéraires sur l’usage de certaines algues”, *Bulletin de la Société Académique de Brest*, 2(II):1-44. Disponible en: <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k2075488/f22.item.r=Molene.langFR>>. Consultado el 20 de octubre de 2017.
- Rodríguez, C. A. (2016), *Actividad biológica de extractos algales con potencial cosmeceútico* (tesis de maestría), México, Instituto Politécnico Nacional.

Luis Óscar Romero Morales y Juana Alba Luis Díaz

# La **conducta paterna** en los **roedores**

Establecer los mecanismos neuroendocrinos que subyacen a la conducta paterna ha sido una tarea ardua, debido a que un buen número de hormonas se han asociado con la regulación de esta conducta. Además, diversos factores sociales influyen en ella. Asimismo, parece haber una variación en los mecanismos de regulación de esta conducta entre especies, lo que hace más compleja esta labor.



La conducta paterna se define como cualquier actividad que realiza el macho en beneficio de las crías y que aumenta la sobrevivencia de éstas. En 5% de las especies de mamíferos el macho participa de manera significativa en el cuidado de sus crías. Entre éstas se encuentran algunas especies de primates, carnívoros, perisodáctilos y roedores (Elwood, 1983).

La presencia de cuidados paternos en los roedores está asociada al sistema de apareamiento monogámico, por lo cual esta conducta es menos común en las especies promiscuas. Por ejemplo, en el caso del hámster enano (*Phodopus campbelli*), especie monógama, el macho participa en el cuidado de sus crías; en el hámster ruso (*Phodopus sungurus*), especie polígama, el macho no proporciona cuidados a su descendencia.

Los cuidados paternos se clasifican en directos e indirectos. En los primeros, las actividades que realiza el macho tienen un efecto inmediato sobre las crías e incluyen el acicalamiento, abrigo, olfateo, recuperación de las crías y sociabilización. En los cuidados indirectos, las acciones del macho benefician a su pareja, lo que reduce su gasto energético e incrementa la posibilidad de sobrevivir; se incluyen entre ellos la provisión de alimento, construcción, mantenimiento y vigilancia del nido.

En su mayoría, los machos de roedores de especies monógamas tienen que inhibir su conducta infanticida (matar a las crías) y convertirse en paternales antes del nacimiento de sus hijos para evitar dañarlos. La proporción de machos infanticidas depende de la especie, la edad y la experiencia sexual. Por ejemplo,





25% de los machos vírgenes de la especie conocida como el ratón de California (*Peromyscus californicus*) son infanticidas; en el caso de los machos del gerbo de Mongolia (*Meriones unguiculatus*) se ha observado esta conducta en alrededor de 40%; únicamente 5% de machos de hámster enano son infanticidas.

El inicio de la conducta paterna en estos roedores es facilitado por factores sociales a los que están expuestos durante su ciclo reproductivo, tales como la cópula, la cohabitación con la hembra preñada y la presencia de las crías. Estas interacciones sociales provocan cambios en la respuesta del macho hacia las crías, aunque poco se han explorado los mecanismos neuroendocrinos que subyacen a este cambio.

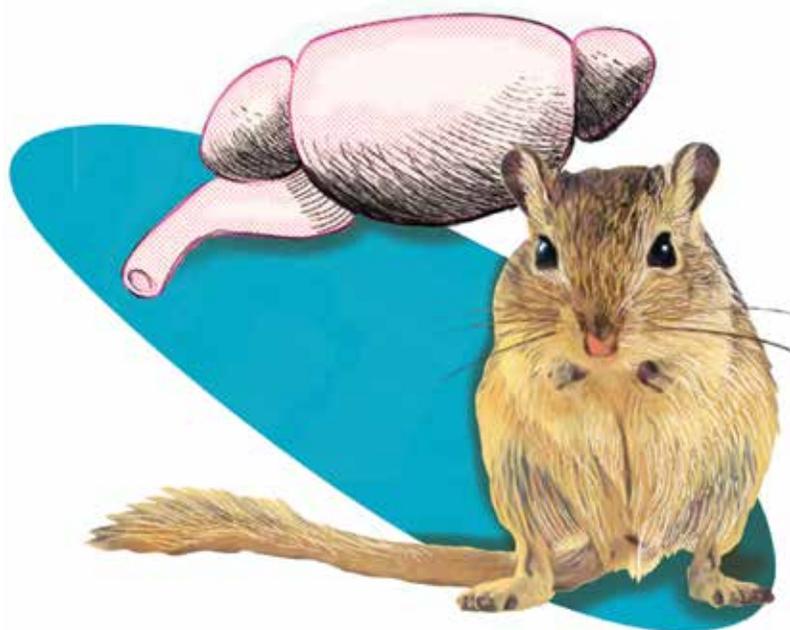
En especies monógamas, como el ratón de California, 25% de los machos vírgenes transitan de agresivos a paternos 24 horas después de la cópula y cohabitación con su pareja. En tanto, 100% de los machos de este roedor son paternos después del nacimiento de sus crías. En este ratón también se ha demostrado que la experiencia de crianza de la primera camada incrementa la probabilidad de mostrar una conducta paterna hacia una cría ajena pero de la misma especie, lo que sugiere que la experiencia reproductiva influye en alguno de los mecanismos neuroendocrinos que regulan esta conducta. En el gerbo de Mongolia, la cópula y la cohabitación con



Hámster enano.

la hembra preñada en un periodo muy cercano al nacimiento de las crías facilitan la transición de machos agresivos a paternos; este cambio en la conducta está asociado a un incremento en los niveles periféricos de testosterona.

Entre los cambios neuroendocrinos asociados al inicio –y posiblemente al mantenimiento– de la conducta paterna se encuentran variaciones en las concentraciones de hormonas tales como la prolactina, la oxitocina, la vasopresina, la testosterona y sus metabolitos –el estradiol y la dihidrotestosterona–, entre otras.



### ■ Hormonas asociadas a la regulación de la conducta paterna

#### ■ Prolactina

■ Es una hormona polipeptídica producida en la adenohipófisis, su secreción es regulada por el hipotálamo y es inhibida principalmente por dopamina. La presencia de cuidados paternos en distintos roedores se ha correlacionado con altas concentraciones de prolactina; tal es el caso del ratón de California, el gerbo de Mongolia y el hámster enano. En este último, la administración de dos agonistas de la dopamina: bromocriptina y cabergolina (que potencian la acción de la dopamina al unirse a su receptor), inhibe la producción de prolactina hipofisiaria; sin embargo, esto no afecta parámetros conductuales como la latencia de contacto y la tasa de recuperación de las



Hámster ruso.



Ratón de California.

crías (Brooks y cols., 2005). No obstante, los mismos autores plantean que la prolactina proveniente de otras fuentes, incluido el cerebro, podría estar participando en la regulación de la conducta paterna.

#### *Oxitocina*

Otra hormona relacionada con la conducta paterna es la oxitocina. Ésta es un neuropéptido que es sintetizado en las células nerviosas del núcleo paraventricular del hipotálamo. En los ratones de campo (*Microtus pensilvanicus*) y en los de la montaña (*Microtus montanus*), la expresión del gen de la oxitocina se incrementa cuando se convierten en padres. En el ratón mandarín (*Microtus mandarinus*) la expresión del gen de esta hormona está correlacionada con un aumento en la expresión de receptores  $\alpha$ -estrogénicos (que, según se ha establecido, tiene un papel clave en la regulación de la conducta parental) en áreas neurales que regulan la conducta paterna, como la amígdala media. Sin embargo, en el ratón de California, las concentraciones plasmáticas de oxitocina no difieren significativamente entre los machos que exhiben conducta paterna y los que son agresivos hacia las crías.

#### *Vasopresina*

La vasopresina es una hormona peptídica, sintetizada en los núcleos hipotalámicos, que ha sido relacionada con el establecimiento de la pareja y la conducta paterna. En el ratón de la pradera (*Microtus ochrogaster*) se hicieron implantes de arginina-vaso-

presina colocados en el septo lateral del macho (área neural asociada con la regulación de la conducta paterna) y éstos ocasionaron un incremento en los cuidados paternos. Asimismo, en este roedor la expresión del gen de la vasopresina aumenta después del nacimiento de las crías.

#### *Testosterona*

La testosterona participa en la regulación de múltiples procesos en el macho, entre ellos los reproductivos, además de su significativa función en la regulación de las conductas sociales, entre ellas la paterna. Los primeros estudios que correlacionaron la conducta paterna con la testosterona indicaron que en roedores como el gerbo de Mongolia, el ratón de California y el hámster enano los niveles de esta hormona disminuían cuando el macho proporcionaba cuidados a su descendencia. Esto sigue el patrón observado en los machos de las aves; sin embargo, estudios subsecuentes mostraron que los niveles de testosterona no sólo no disminuyen, sino que los incrementos de esta hormona son necesarios para el inicio y mantenimiento de la conducta paterna. En el topillo rojo (*Myodes glareolus*), un roedor endémico de Gran Bretaña, los incrementos de la testosterona facilitan la exhibición de cuidados paternos. En el ratón de California la castración reduce el tiempo invertido en los cuidados paternos, mientras que los machos castrados con implantes de testosterona proporcionan significativamente más cuidados que los machos no tratados (Trainor y Marler, 2001;



Gerbo de Mongolia.

2002). En el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*) la administración de testosterona induce la exhibición de cuidados paternos en machos vírgenes agresivos hacia las crías (Luis y cols., 2010).

Debido a la función preponderante que tiene el estradiol en la regulación de la conducta materna, se ha llegado a plantear que la testosterona regula la conducta paterna a través de su conversión a estradiol, como en el ratón de California. Sin embargo, en el gerbo de Mongolia y el ratón de los volcanes, ambos metabolitos de la testosterona –estradiol y dihidrotestosterona– participan en la regulación de esta conducta. En el ratón de California, cuando a los machos castrados se les administra testosterona o estradiol más fadrozol (un inhibidor de la aromatasas que inhibe la transformación de testosterona a estradiol), únicamente los machos tratados con estradiol incrementan el nivel de los cuidados paternos. Asimismo, en este roedor la actividad de la aromatasas es significativamente más alta en el área preóptica media de los machos que participan en el cuidado de sus crías, en comparación con los machos apareados sin crías. Estos resultados apoyan la explicación de que en el ratón de California, la testosterona ejerce sus efectos en la regulación de la conducta paterna a través de su conversión a estradiol en regiones neurales, como el área preóptica media.

Por su parte, en el hámster enano el papel de la testosterona y el estradiol en la regulación de la conducta paterna ha sido repetidamente rechazado (Hume y Wynne-Edwards, 2005). Sin embargo, en

nuestro laboratorio utilizamos como modelo de estudio a machos vírgenes agresivos hacia las crías y mostramos que los incrementos de estradiol inducen la exhibición de los cuidados paternos (Romero-Morales y cols., 2018).

En el gerbo de Mongolia, la testosterona y sus metabolitos –estradiol y dihidrotestosterona– están involucrados en los mecanismos que inhiben la agresión hacia las crías y facilitan la exhibición de cuidados paternos; cuando los machos castrados reciben reemplazamiento de testosterona, estradiol o dihidrotestosterona, se convierten en paternales, a pesar de que antes de este tratamiento fueron agresivos hacia crías ajenas de la especie (Martínez y cols., 2015). Esto mismo ocurre en el ratón de los volcanes, en el cual la administración de estradiol o dihidrotestosterona induce la exhibición de cuidados paternos en machos indiferentes o agresivos hacia las crías (datos no publicados).

#### ■ Bases neurales de la conducta paterna

■ El circuito neural que regula la conducta materna está integrado por varias regiones hipotalámicas: el área preóptica media, el lecho del núcleo de la estría terminalis y el mesencéfalo ventromedial, que facilitan la exhibición de cuidados maternos, y el núcleo del área hipotalámica y el del hipotálamo ventromedial, así como el área gris periacueductal, que participan en la aversión hacia las crías. Tanto el circuito facilitador como el inhibidor de la regulación de la conducta materna tienen múltiples conexiones con regiones anatómicas, como la amígdala media, la cual recibe proyecciones del bulbo olfatorio (Numan e Insel, 2003).

Por su parte, aunque el circuito neural de la conducta paterna no ha sido establecido, gracias a algunos estudios de lesión y a la utilización de marcadores neurales como *c-fos* se sabe que varias regiones del circuito neural de la conducta materna también forman parte del circuito neural de la conducta paterna. En el ratón de California, las lesiones electrolíticas (lesiones a nivel neural mediante pequeñas corrientes eléctricas) en el área preóptica media, la amígdala media y el núcleo *accumbens*, ocasionan

una disminución en el tiempo invertido en el abrigo, acicalamiento y olfateo. En el ratón de la pradera, la interacción con las crías activa regiones como el área preóptica media, la amígdala media, el lecho del núcleo de la estría *terminalis* y el septo lateral, al usar *c-fos* como marcador de la actividad neural. En el gerbo de Mongolia, con este mismo marcador se encontró que la interacción con las crías activa regiones como el área preóptica media, el lecho del núcleo de la estría *terminalis*, la amígdala media y el bulbo olfatorio; mientras que en los machos agresivos se activan el núcleo anterior del hipotálamo, el hipotálamo ventromedial, el gris periacueductal, la amígdala media y el bulbo olfatorio.

La información generada hasta hoy sobre las bases biológicas de la conducta paterna señala que ésta es dependiente de la regulación hormonal. No obstante, los estudios de la función que estas hormonas tienen en la regulación de la conducta paterna son escasos, por lo cual no es posible sugerir un patrón general de regulación. Por ejemplo, aunque la participación de la testosterona en la regulación de la conducta paterna se ha establecido, existe controversia debido a que en algunos roedores esta hormona regula la conducta paterna a través de su conversión a estradiol; y en otros, tanto el estradiol como la dihidrotestosterona están involucrados en la regulación de esta conducta. Además, es posible que existan diversos esquemas de regulación neuroendocrina de la conducta paterna, debido a que ésta evolucionó de manera independiente en diversos grupos de roedores.

#### Luis Óscar Romero Morales

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.  
luis\_8r@hotmail.com

#### Juana Alba Luis Díaz

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.  
luisdc@unam.mx



#### Lecturas recomendadas

- Brooks, P. L., Vella, E. T. y Wynne-Edwards, K. E. (2005), "Dopamine agonist treatment before and after the birth reduces prolactin concentration but does not impair paternal responsiveness in Djungurian hamsters", *Hormones and Behavior*, 47:358-366.
- Elwood, R. W. (1983), "Paternal care in rodents", en R. W. Elwood (comp.), *Parental behavior of rodents*, Cichester, John Wiley, pp. 235-257.
- Hume, J. M. y Wynne-Edwards, K. E. (2005), "Castration reduces male testosterone, estradiol, and territorial aggression, but not paternal behavior in biparental dwarf hamsters (*Phodopus campbelli*)", *Hormones and Behavior*, 48:303-310.
- Luis, J. et al. (2010), "Neither testosterone levels nor aggression decrease when the male Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) displays paternal behavior", *Hormones and Behavior*, 57:271-275.
- Martínez, A. et al. (2015), "Paternal behavior in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) would be regulated by estrogenic and androgenic pathways", *Hormones and Behavior*, 71:91-95.
- Numan, M. e Insel, T. R. (2003), "The neurobiology of parental behavior", Nueva York, Springer.
- Romero-Morales, L. O. et al. (2018), "An increase in estradiol facilitates the onset of paternal behavior in the dwarf hamster (*Phodopus campbelli*)", *Hormones and Behavior*, 99:35-40.
- Trainor, C. B. y Marler, A. C. (2001), "Testosterone, paternal behavior and aggression in the monogamous California mouse (*Peromyscus californicus*)", *Hormones and Behavior*, 40:32-42.
- Trainor, C. B. y Marler, A. C. (2002), "Testosterone promotes paternal behavior in a monogamous mammal via conversion to estrogen", *The Royal Society*, 269 (1463):823-829.

Anayeli Quintana López, Miguel Ángel Hurtado Oliva, Crisantema Hernández y Elena Palacios Mechetnov



# Carotenoides. ¿Qué son y para qué se usan?

Los pigmentos carotenoides, en particular la astaxantina, son antioxidantes naturales que estimulan la respuesta inmunológica, disminuyen los efectos adversos del estrés y favorecen el crecimiento de los organismos acuáticos durante su cultivo. Además, se ha documentado el efecto benéfico de los carotenoides en la salud humana, sobre todo contra algunas enfermedades degenerativas.



### ¿Qué son los pigmentos carotenoides y dónde se encuentran?

Los carotenoides son pigmentos orgánicos solubles en grasa que se encuentran de forma natural en algas, plantas y algunas clases de hongos y bacterias. Debido a sus características fisicoquímicas, los carotenoides son responsables de la gran mayoría de los colores verdes, anaranjados o rojos presentes en algunos vegetales y también animales.

Se dividen en dos grandes grupos: los carotenos y las xantófilas (Armstrong y Hearst, 1996). Los primeros contienen carbono e hidrógeno en sus moléculas. Los pigmentos  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno, licopeno y criptoxantina se encuentran principalmente en micro y macroalgas, así como en vegetales terrestres: zanahorias, papayas, melones y naranjas, entre otros. En contraste, las xantófilas están compuestas por carbono, hidrógeno y, adicionalmente, por lo menos un átomo de oxígeno. Algunos ejemplos son la luteína, zeaxantina, capsantina y astaxantina, pigmentos que le dan la coloración amarillenta, roja y anaranjada a las algas, bacterias y plantas superiores, como el pimiento rojo y el arándano, entre otros.

Los pigmentos carotenoides son indispensables para la vida y deben obtenerse a partir de la dieta, ya que ningún animal, incluido el humano, puede producirlos. Actualmente se conocen alrededor de 700 carotenoides, de los cuales 200 son de origen marino. En la acuicultura se utilizan distintas fuentes de carotenoides como aditivo (50 a 150 mg/kg peso seco) en alimentos balanceados para dar una coloración atractiva a los organismos, lo que incrementa su plusvalía; tal es el caso del cultivo del salmón, la trucha, la langosta, el cangrejo y el camarón. Las diferentes fuentes de estos pigmentos –en particular los utilizados en alimentos para camarón– pueden ser de origen natural o sintético. Dentro de los pigmentos naturales tenemos la harina de crustáceos (krill), las levaduras (*Phaffia rhodozyma*), las microalgas (*Haematococcus pluvialis*), las cianobacterias (*Arthrospira* sp. o *Spirulina*), las macroalgas (*Macrocystis* sp.) y algunas verduras (pimiento morrón –*Capsicum annum*– y flor de cempasúchil –*Tagetes erecta*–).





Los distintos tipos de carotenoides contenidos en la dieta de los peces y crustáceos son transformados en astaxantina; de igual manera sucede en algunas especies de aves, como el flamenco (*Phoenicopterus* sp.) y la espátula rosada (*Platalea ajaja*), cuya dieta incluye pequeños crustáceos productores de astaxantina.

La astaxantina se caracteriza principalmente por su alto poder antioxidante, útil tanto para los humanos como en organismos acuáticos. En estos últimos la astaxantina se encuentra en los tejidos en dos formas químicas: una libre y otra esterificada, es decir, unida a uno o a dos ácidos grasos (véase la Figura 1), aunque también puede estar asociada con algunos tipos de proteínas (Storebakken y Austreng, 1987). Cuando la astaxantina se encuentra asociada a proteínas no tiene color rojo, pero al separarse de la proteína adquiere de nuevo su coloración característica. Esto es lo que sucede en los camarones, que tienen astaxantina unida a una proteína (crustaceanina) cuando están vivos –por ello presentan un color gris-azulado–, pero cuando los cocinamos, la astaxantina se separa de la proteína y éstos adquieren un color rojo-anaranjado (Jáuregui y cols., 2011). En la Figura 2 se muestra la diferencia del aspecto entre camarones crudos y el brillante color anaranjado cuando están cocidos.

El color que los carotenoides aportan a los organismos acuáticos tiene una serie de ventajas para el comportamiento y la comunicación; por ejemplo, sirven para repeler a los depredadores y como camuflaje. Pero más allá de las propiedades de pigmentación, los carotenoides tienen importantes efectos fisiológicos en los animales acuáticos en cultivo, que detallaremos a continuación.

**Acuicultura intensiva**

Producción de organismos acuáticos altamente tecnificada; conlleva la siembra y el mantenimiento de muchos organismos por estanque; se proporcionan altas cantidades de alimento comercial balanceado.

**Importancia de los carotenoides en la nutrición y fisiología de los organismos acuáticos**

La deficiencia de carotenoides en los alimentos balanceados para los cultivos de organismos acuáticos se ha asociado con algunas enfermedades y, en general, con una disminución en la respuesta inmunológica, un menor crecimiento y una menor supervivencia

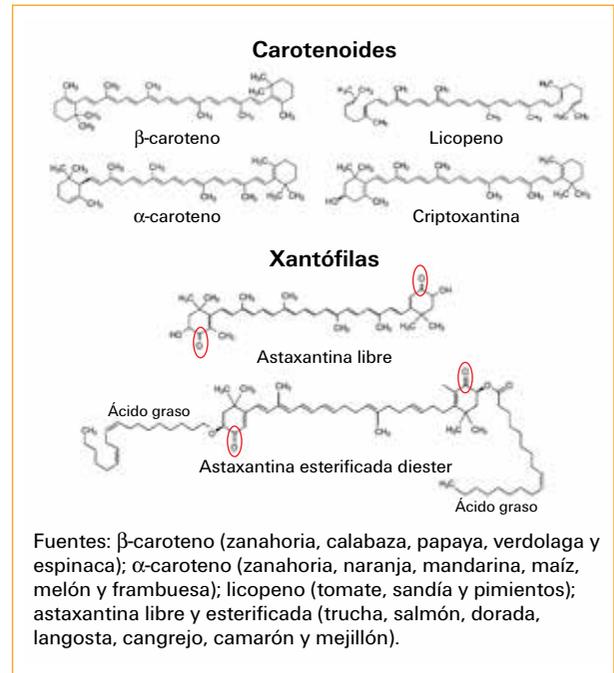


Figura 1. Estructura química de algunos carotenoides y de la astaxantina libre y esterificada. La diferencia entre los carotenos y las xantófilas es el oxígeno en las moléculas de las segundas.



Figura 2. Fuentes de carotenoides de origen natural: a) pargo; b) pimientos y zanahorias; c) camarón blanco fresco; d) camarón blanco cocido.

(Supamattaya y cols., 2005). Lo anterior tiene un efecto negativo en el rendimiento cuando se trata de **acuicultura intensiva**, por lo que hoy se busca enriquecer las dietas balanceadas con fuentes adicionales de astaxantina para mejorar tanto la condición de los organismos como su pigmentación; con ello también incrementa su valor en el mercado. En el

caso de la **acuicultura extensiva**, la gran cantidad de microalgas presentes en el agua por lo general resulta suficiente para proveer de carotenoides a los organismos en cultivo.

El efecto fisiológico de los carotenoides, y en particular de la astaxantina, se debe principalmente a su acción como antioxidante natural. Desde el punto de vista nutrimental, se puede definir un antioxidante como aquella sustancia presente en los alimentos que disminuye de manera significativa los efectos adversos de sustancias oxidantes derivadas del oxígeno y el nitrógeno (Kurshize y cols., 1990) como parte del metabolismo normal del animal. La actividad antioxidante de la astaxantina depende de varios factores, como su estructura química, su concentración en la dieta o su interacción con otros antioxidantes. Algunos estudios indican que la actividad antioxidante de la astaxantina es superior a la del  $\beta$ -caroteno y las vitaminas C y E. Otro papel biológico y nutricio de importancia atribuido a la astaxantina es su función como precursor de la vitamina A (retinol), la cual es indispensable para la visión nocturna; en el caso de los camarones, su deficiencia puede causar anomalías en la frecuencia de muda del exoesqueleto, mismo que los crustáceos desechan para incrementar el tamaño de su cuerpo.

Asimismo, los carotenoides actúan como estimulantes de la respuesta inmunológica en otros peces y crustáceos cultivados. Diversos factores pueden inducir una respuesta fisiológica de estrés en dichos organismos, lo que aumenta su vulnerabilidad a las bacterias que normalmente están presentes en el agua de mar; por ejemplo, las altas densidades de organismos en el cultivo, la captura, la manipulación, el confinamiento y el transporte de los mismos; así como factores ambientales: disminución de oxígeno, cambios en la temperatura o en la salinidad y aumento de amoníaco, entre otros. La respuesta inmune está dada en gran parte por un sistema de ataque a los patógenos que involucra la producción de radicales de oxígeno; una vez que el patógeno muere, los carotenoides se usan para disminuir la toxicidad para el propio organismo por estos radicales.

En este sentido, se ha demostrado que incluir dosis elevadas de  $\beta$ -caroteno y astaxantina en las

dietas para el camarón mejora la resistencia al estrés y protege las células del sistema inmunológico; esto aumenta la resistencia a enfermedades durante el cultivo (Pan y cols., 2003). También se ha informado que las fuentes naturales o sintéticas de carotenoides como suplementos en el alimento pueden aumentar los parámetros de crecimiento y mejorar la supervivencia. Por último, se ha demostrado que los carotenoides tienen un papel importante en la reproducción y durante el desarrollo embrionario de los crustáceos y los peces.

Nuestro grupo de investigación actualmente analiza la cantidad de astaxantina libre y esterificada presente en exoesqueleto, músculo, gónada y hepatopáncreas (glándula digestiva), así como en los ojos, de algunas especies de camarones. La astaxantina esterificada se concentra en grandes cantidades en el hepatopáncreas, donde se metaboliza y se transporta a otros tejidos mediante diversos procesos fisiológicos (estadio de desarrollo, maduración de las gónadas, ciclo de muda) y nutricios (tipo de pigmento, cantidad ingerida y tiempo del suministro del pigmento). La acumulación de la astaxantina en los diversos tejidos de los camarones favorece una mejor condición fisiológica de los organismos, y con ello una mayor capacidad reproductiva que impacta en la supervivencia de los organismos durante su cultivo.

### **Efectos de los carotenoides en la salud humana**

Además del efecto que tienen estos pigmentos en la acuicultura, se han documentado sus beneficios para la salud humana, principalmente asociados con la prevención de enfermedades. Diversas especies de peces y crustáceos hoy sirven de alimento para los humanos, y cada una de éstas tiene diferentes contenidos de pigmentos dependiendo de su etapa de desarrollo (etapa reproductiva), hábitat y tipo de alimentación. Tales aspectos determinarán la apariencia física y el color de la carne, lo que genera una mayor o menor aceptación por parte del consumidor (véase la Figura 2). Asimismo, deben incluirse en la dieta vegetales que sean fuente de carotenoides.

#### **Acuicultura extensiva**

Producción de organismos acuáticos poco tecnificada; se siembran y mantienen pocos organismos por estanque; la alimentación depende de la productividad natural del estanque y se adiciona poco alimento comercial balanceado.



El interés por los efectos benéficos en los humanos se ha estimulado por estudios clínicos que sugieren que el consumo de alimentos ricos en carotenoides reduce la incidencia de varias enfermedades. Esto se debe a sus propiedades antioxidantes. En términos generales, los antioxidantes neutralizan diversas sustancias químicas que pueden dañar las membranas celulares y el material genético, lo cual puede devenir en algunos tipos de cáncer (Tanaka y cols., 1995) y otras enfermedades como Alzheimer, Parkinson, diabetes, artritis reumatoide, neurodegeneración y enfermedades cardiovasculares, entre otras. Hay estudios que muestran que el aporte elevado de carotenoides en la dieta humana puede reducir el riesgo de algunos tipos de cáncer: por ejemplo, el  $\beta$ -caroteno parece ser capaz de suprimir el crecimiento de ciertas lesiones precursoras del cáncer (adenomas) en el intestino; así como combatir la incidencia de cáncer de boca, garganta, esófago y de cáncer de mama (Omenn y cols., 1996).

Entre los carotenoides más investigados por su efecto sobre la salud humana están el  $\beta$ -caroteno, el licopeno, la luteína, la zeaxantina y la astaxantina. Algunos de estos pigmentos no están disponibles para nuestro consumo en estado natural o crudo, pero se liberan y absorben durante la preparación de los alimentos.

La astaxantina, el pigmento con mayor propiedad antioxidante, no sólo se encuentra en vegetales y algunas especies de microalgas de agua dulce (*Hae-matococcus pluviialis*); también está en algunas especies animales, como truchas, salmónidos, camarones y algunas especies de mejillones. Los carotenoides, y en particular la astaxantina, mejoran la respuesta del sistema inmunológico porque estimulan la producción de glóbulos blancos en la sangre y la actividad de los macrófagos (principales células que se encargan de disminuir las infecciones por microorganismos patógenos). La astaxantina también es un poderoso antiinflamatorio, por lo que además de prevenir el envejecimiento, resulta muy benéfico en la mayoría de las patologías que se caracterizan por niveles crónicos de inflamación, como artritis, dolores musculares, enfermedades cardiovasculares y Alzheimer (Fiedor y Burda, 2014). También es conocida por

regular los niveles de colesterol y contribuir a una buena circulación sanguínea. Incluso, numerosos deportistas ingieren de manera regular suplementos con astaxantina para incrementar el rendimiento o estimular la recuperación tras el ejercicio físico.

Otros estudios han encontrado una asociación entre la actividad antioxidante del licopeno –muy abundante en los jitomates (*Solanum lycopersicum*)– y la protección ante la aparición y el desarrollo de células malignas o cancerígenas en la próstata (Rowles y cols., 2017). Por otra parte, la luteína y la zeaxantina actúan en la retina: pueden proteger el ojo contra daños causados por la luz ultravioleta, prevenir la degradación de lípidos y reducir la degeneración macular relacionada con la edad o las cataratas seniles. Estos pigmentos se obtienen del maíz, la yema de huevo, la naranja y la papaya, entre otros alimentos.

Más allá del interés por la actividad antioxidante de los carotenoides, hace falta estudiar otros posibles mecanismos (no oxidantes) que benefician a los seres humanos. A partir de análisis observatorios y clínicos se ha comprobado que un consumo frecuente de frutas, verduras y productos marinos reduce el riesgo de contraer diversas enfermedades. Inclusive se considera que el aporte dietético de carotenoides



funciona como una medida económica para la prevención primaria y secundaria de las numerosas enfermedades mencionadas anteriormente.

### ■ **Perspectivas del uso de la astaxantina en la camaronicultura**

■ Aquí hemos destacado la importancia nutrimental y fisiológica de la astaxantina como un ingrediente vital en la alimentación y para el éxito del rendimiento productivo de peces y camarones en cultivo. Sin embargo, hasta el momento no se ha determinado cuál es la cantidad adecuada para cumplir con los requerimientos nutricios de dichas especies —en particular del camarón, que es el más cultivado en México—. Por lo regular, las diversas fuentes de pigmentos carotenoides para los alimentos balanceados incluyen de 10 a 20 veces más de las cantidades que se han encontrado en los tejidos de otras especies de camarones (silvestres). Teniendo en cuenta lo anterior, como parte de una tesis de doctorado en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa, se realizó por **cromatografía líquida** la caracterización de los pigmentos presentes en diversos tejidos de las principales especies de camarones silvestres en etapa juvenil y adulta, con

la finalidad de determinar las concentraciones de carotenoides como un referente para incluir la astaxantina en los alimentos para camarón en cultivo. Adicionalmente se evaluará si otras concentraciones diferentes a las determinadas en las poblaciones silvestres afectan la resistencia al estrés, la respuesta inmunológica o el rendimiento del cultivo del camarón.

#### **Anayeli Quintana López**

Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

acuacultors\_ayl@hotmail.com

#### **Miguel Ángel Hurtado Oliva**

Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

mholiva@uas.edu.mx

#### **Crisantema Hernández**

Centro de Investigación y Desarrollo, A. C., Unidad Mazatlán.

chernandez@ciad.mx

#### **Elena Palacios Mechetnov**

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

epalacio@cibnor.mx

#### **Cromatografía líquida**

Técnica de laboratorio que consiste en separar físicamente los compuestos químicos en solución, para su identificación y cuantificación.

#### **Lecturas recomendadas**

Armstrong, G. A. y Hearst, J. E. (1996), “Genetics and molecular biology of carotenoid pigment biosynthesis”, *FASEB Journal*, 10:228-237.

Fiedor, J. y Burda, K. (2014), “Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease”, *Nutrients*, 6:466-488.

Jáuregui, M. E., Carrillo, M. D. y Romo F. P. (2011), “Carotenoides y su función antioxidante. Revisión”, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61:233-241.

Kurshize, M. *et al.* (1990), “Inhibition of oxidative injury of biological membranes by astaxanthin”, *Physiological Chemistry and Physics and Medical*, 22:27-38.

Omenn, G. S. *et al.* (1996), “Effects of a combination of beta carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease”, *New England Journal of Medicine*, 334:1150-1155.

Pan, C. H., Chien, Y. H. y Hunter, B. (2003), “Alterations of antioxidant capacity and hepatopancreatic enzymes in *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles fed

diets supplemented with astaxanthin and exposed to *Vibrio damsela* challenge”, *Journal of Fish Society Taiwan*, 30:279-290.

Rowles III, J. L. *et al.* (2017), “Increased dietary and circulating lycopene are associated with reduced prostate cancer risk: a systematic review and meta-analysis”, *Prostate Cancer and Prostatic Diseases*, 20(4):361-377.

Storebakken, T. y Austreng, E. (1987), “Binders in fish feeds II. Effect of different alginates on the digestibility of macronutrients in rainbow trout”, *Aquaculture*, 60:121-131.

Supamattaya, K. *et al.* (2005), “Effect of a *Dunaliella* extract on growth performance, health condition, immune response and disease resistance in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*)”, *Aquaculture*, 248:207-216.

Tanaka T. *et al.* (1995), “Chemoprevention of rat oral carcinogenesis by naturally occurring xanthophylls, astaxanthin and canthaxanthin”, *Cancer Research*, 55: 4059-4064.

Ashley Castellanos Jankiewicz



# Neurobiología del comportamiento alimentario

Entre otras funciones, el hipotálamo es una región cerebral que controla el apetito y la saciedad. Mantenemos nuestro peso corporal gracias a la actividad de neuronas específicas hipotalámicas que regulan la ingestión de alimentos y el gasto energético. Si no reconociéramos estas señales, no sabríamos en qué momento comer ni cuándo detenernos, lo que nos llevaría rápidamente a estados patológicos, como la obesidad.

## Neurobiología del comportamiento alimentario

Se considera que un adulto promedio en México debe consumir aproximadamente 1 800 kcal al día para mantener un peso saludable. Imagina que consumes exactamente las 1 800 kcal todos los días durante un año y tu actividad física es de acuerdo con la recomendada. De ser así, tu peso no sufrirá grandes cambios en dicho periodo. Ahora bien, si además bebieras media lata de un refresco de cola al día durante ese año, aumentarías hasta 7 kg de tu peso corporal, pues la energía proveniente de los azúcares del refresco excederían tus requerimientos diarios. Para evitar esto, nuestro cuerpo necesita un fino sistema de regulación y equilibrio para tener un peso constante, sin grandes fluctuaciones de un día para otro.

Los mamíferos mantenemos el balance energético gracias a un proceso altamente regulado por el cerebro, que consiste en un delicado equilibrio entre la ingestión de energía (en forma de calorías, es decir, alimentos) y el gasto de energía (para hacer funcionar tu metabolismo, generar calor y realizar actividad física). Una alteración en este equilibrio se refleja directamente en la ganancia o pérdida de peso corporal.

En los animales de vida salvaje rara vez encontramos problemas de obesidad o desnutrición (salvo en condiciones particulares, como durante las sequías) puesto que, debido a los desafíos de su entorno, cada día tienen que luchar por encontrar alimentos, tarea que no siempre resulta exitosa. En cambio, una explicación al problema de la obesidad en los humanos es que estamos genéticamente progra-

mados para acumular grasas y así protegernos en periodos de escasez, lo cual tiene sentido desde un punto de vista evolutivo; sin embargo, hoy día hemos manipulado nuestro entorno a tal punto que, con el mínimo esfuerzo, podemos acceder a todo tipo de alimentos en todo momento (incluso los altamente energéticos que no se encuentran en la naturaleza), lo cual incrementa la probabilidad de desarrollar obesidad. Además, vivimos en entornos sociales en donde compartir experiencias y expresar afecto con frecuencia ocurre alrededor de la mesa, pues hemos asignado un valor emocional a ciertos alimentos y preparaciones.





Con antecedentes genéticos poco favorecedores y una abundancia de alimentos en el entorno, la pregunta es: ¿qué hace nuestro organismo para mantener un balance energético adecuado?

**El comportamiento alimentario: resultado de la comunicación neuronal**

La región en el cerebro que se ocupa de regular nuestra hambre, saciedad y gasto energético es el hipotálamo. Sus funciones se extienden a dirigir la respuesta al estrés, los ritmos circadianos, la secreción hormonal que regula el crecimiento y la temperatura corporal, entre otras. En el hipotálamo existen diferentes cúmulos de neuronas especializadas, llamados núcleos, con funciones distintivas. En particular, el núcleo arqueado ha sido ampliamente estudiado en el contexto del comportamiento alimentario. Esto se debe a que contiene dos poblaciones neuronales con funciones opuestas. Las primeras son las neuronas que secretan péptido relacionado con agouti (AgRP) y neuropéptido Y (NPY), que se activan cuando el organismo necesita energía y provocan la sensación

de hambre. Las otras son neuronas que secretan proopiomelanocortina (POMC); éstas son la causa de que dejemos de comer cuando hemos cubierto nuestro requerimiento energético, pues promueven la saciedad.

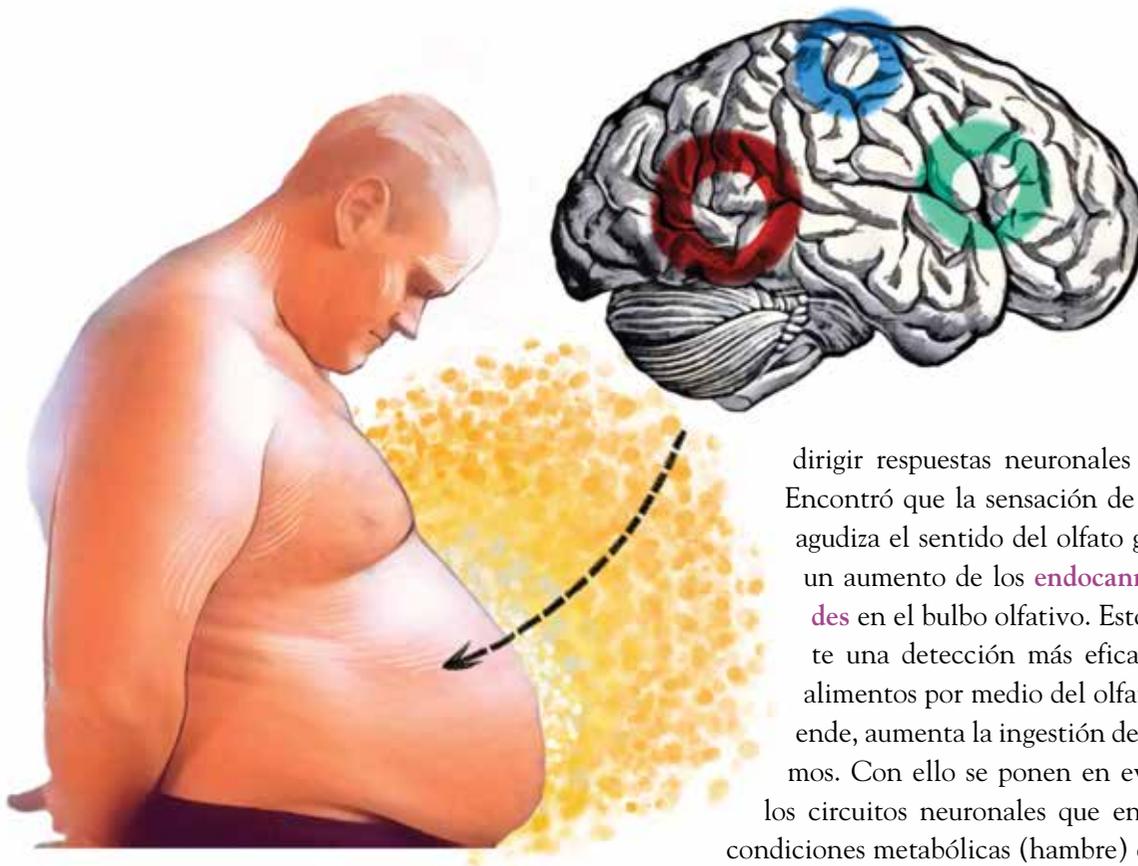
Dicha comunicación neuronal funciona de la siguiente manera: cuando no has comido durante unas horas, tu sistema digestivo libera hormonas (como la grelina, producida en el estómago) que pueden viajar directamente al cerebro. Ahí, éstas activarán a las neuronas AgRP y NPY del hipotálamo, que te provocarán la sensación de hambre. Lo contrario ocurre después de comer, pues los órganos periféricos secretarán otras hormonas (como la leptina, producida en el tejido adiposo, y la colecistocinina, producida en el intestino delgado) que activarán a las neuronas POMC, y de este modo sentirás que has comido suficiente. Éstos son los circuitos neuronales clásicos que dictan el comportamiento alimentario, mas no son los únicos, pues existen conexiones entre otros núcleos hipotalámicos que también influyen en los fenómenos de apetito y saciedad, así como en otras áreas del cerebro (véase el Recuadro 1).

Para hacer las cosas un poco más complicadas, resulta que a veces consumimos alimentos aunque nuestro cuerpo no requiera de energía inmediatamente. Por ejemplo, cuando imaginamos un platillo específico, o lo percibimos mediante los sentidos del olfato o la vista, se desencadena el deseo de ingerirlo, a pesar de que no necesitemos la energía en ese momento (como cuando ya comiste suficiente, pero la abuela recién sacó un flan del horno). Podrás darte cuenta de que un ligero desequilibrio en este sistema sería catastrófico: si no pudiésemos distinguir las señales de nuestro cuerpo, no sabríamos en qué momento comer ni cuándo detenemos, lo que nos llevaría rápidamente a estados patológicos, como la obesidad. Lo bueno es que la naturaleza está de nuestro lado, pues existen neuronas que pueden reaccionar ante estímulos externos (en este caso, alimentos) en cuestión de segundos.

En este sentido, un grupo de investigadores (Chen y cols., 2015) midió la activación de dicho sistema en el cerebro de los ratones al presentarles diferentes alimentos. Encontraron que la detección sensorial (olfato o vista) de un alimento es suficiente para

**Recuadro 1. El sistema central de la melanocortina**

Con el fin de controlar el balance de energía disponible en el organismo, las neuronas del núcleo arqueado del hipotálamo han evolucionado para generar circuitos neuronales que se autorregulan entre ellos. Para ejercer sus funciones, tanto las neuronas AgRP como las POMC reciben información de la periferia (regiones fuera del cerebro, como el tejido adiposo o el sistema digestivo) para generar respuestas. Estas respuestas viajan hasta los receptores de melanocortina que se encuentran en un núcleo hipotalámico vecino: el paraventricular. Ahí, ambas poblaciones de neuronas secretan proteínas específicas para señalar apetito o saciedad, respectivamente. A estos circuitos neuronales se les conoce como el sistema de la melanocortina; controlan no sólo el comportamiento alimentario, sino también el gasto energético, la glucosa en la sangre y el peso corporal. Gracias a estas funciones, los elementos del sistema de la melanocortina han sido motivo de estudio y blanco terapéutico para tratar la obesidad.



### Endocannabinoides

Sustancias cannabinoides producidas por nuestro propio cuerpo, las cuales funcionan como mensajeros químicos; actúan como lípidos neuromoduladores de procesos fisiológicos como el apetito, la sensación del dolor, la memoria y el sueño, entre muchos otros.

dirigir respuestas neuronales rápidas. Encontró que la sensación de hambre agudiza el sentido del olfato gracias a un aumento de los **endocannabinoides** en el bulbo olfativo. Esto permite una detección más eficaz de los alimentos por medio del olfato y, por ende, aumenta la ingestión de los mismos. Con ello se ponen en evidencia los circuitos neuronales que entretienen condiciones metabólicas (hambre) con percepción (olfato) y comportamiento (ingestión de alimentos). En el Recuadro 2 se explica, de manera

estimular las neuronas AgRP y POMC, incluso antes de ingerirlo. Además, la intensidad de estos estímulos depende del tipo de alimento presentado, pues cuando a los ratones les dieron chocolate o crema de cacahuete, la respuesta neuronal fue aún más rápida (cabe mencionar que los roedores tienen una gran preferencia por este tipo de alimentos altos en grasa). Esto sugiere que nuestras neuronas pueden distinguir inmediatamente entre un alimento y otro, de acuerdo con su densidad calórica y propiedades sensoriales –incluso antes de comerlo–, para poder ajustar con tiempo las señales que indiquen la cantidad que vamos a ingerir. Todo esto nos lleva a preguntar: ¿cuál es el origen de estas rápidas respuestas neuronales?

### ■ Oler para comer: la influencia del olfato en el balance energético

■ Un estudio llevado a cabo en 2014 por el investigador mexicano Édgar Soria Gómez sugiere que nuestro sentido del olfato podría ser clave para

### Recuadro 2. Neuronas POMC y endocannabinoides

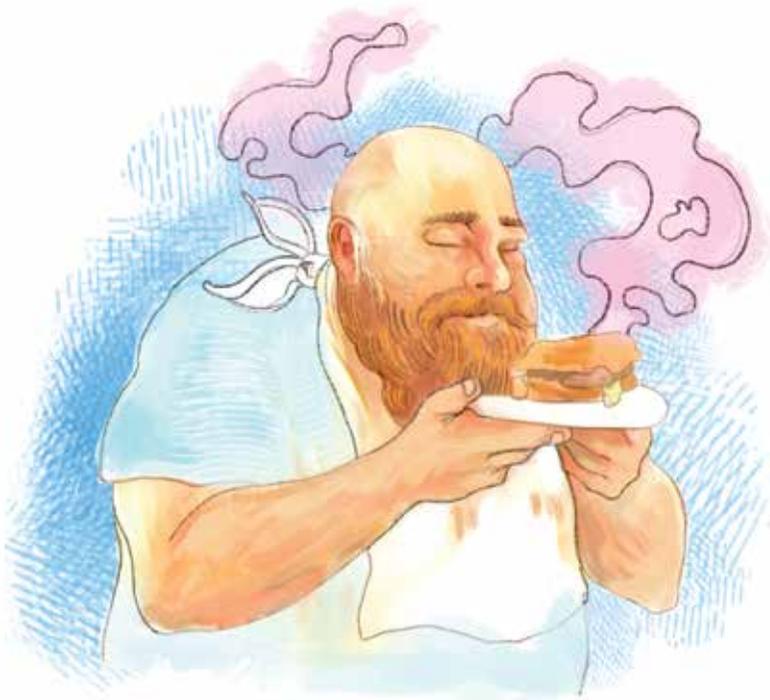
Los fenómenos biológicos rara vez se dan en blanco y negro. El concepto clásico del sistema de la melanocortina es que las neuronas POMC producen señales de saciedad gracias a la producción de la hormona estimulante de melanocitos. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que también señalan apetito, pues producen betaendorfina, que promueve el hambre. Los endocannabinoides pueden actuar en estas neuronas POMC gracias al receptor CB1, que al activarse estimula la liberación específica de betaendorfina para provocar la sensación de hambre. Éste es uno de los mecanismos mediante el cual la marihuana, que contiene cannabinoides activadores de CB1, ocasiona la sensación de hambre; pero existen otros. Los receptores CB1 se expresan en muchas otras regiones del cerebro, como el núcleo accumbens, que es el centro del placer y recompensa, donde su activación detona la motivación por comer.



más específica, cómo los endocannabinoides participan en la sensación de hambre.

De manera similar, el estudio de Riera y cols. (2017), que ha causado mucho interés tanto en el entorno científico como en los medios de comunicación, enfatiza también la influencia del olfato en nuestro comportamiento alimentario y, por ende, en el peso corporal. Para estudiar esto, los investigadores eliminaron las neuronas del olfato en ratones para crear un modelo de hiposmia, es decir, una reducida capacidad de percibir olores. Estos animales, que además eran obesos, bajaron de peso y redujeron su masa grasa, a pesar de comer un alimento rico en grasas. Además, los ratones con hiposmia tuvieron una menor concentración de glucosa en la sangre y gastaron más energía (disipada en forma de calor), resultados de gran interés para el estudio de la obesidad y la diabetes. Cuando los investigadores generaron el modelo opuesto –es decir, animales con hiperosmia (capacidad exacerbada de percibir olores)–, los ratones tuvieron mayor peso corporal y cantidad de grasa, además de ser resistentes a la insulina.

Estos trabajos abren una nueva ventana en el estudio del comportamiento alimentario y el peso cor-



poral, pues sugieren que subir o bajar de peso no es únicamente reflejo de la cantidad de calorías que ingerimos, sino que también depende de cómo nuestro cerebro las percibe. Por un lado, el hambre aumenta la percepción de los olores, como lo ha mostrado el doctor Soria Gómez; por otro, tal vez la pérdida del olfato “engaña” a nuestro cerebro para hacerle creer que ya hemos ingerido alimentos. Como podrás imaginar, algunas ideas de aplicaciones clínicas para pacientes con obesidad han comenzado a surgir a raíz de estos estudios. Por ejemplo, imagina una persona cuyo último recurso para bajar de peso es la cirugía bariátrica (reducción del tamaño del estómago). Quizá en un futuro podremos “apagar” de manera temporal sus neuronas olfativas hasta que haya logrado un peso adecuado, para luego permitir la regeneración de dichas neuronas, sin necesidad de someterlo a una operación tan invasiva.

#### ■ **Afilemos un pensamiento crítico**

■ El comportamiento alimentario es un fenómeno de gran complejidad que involucra la sincronía de muchos sistemas, tanto periféricos como centrales. En consecuencia, la interpretación de este tipo de estudios es igual de compleja, ya que se realizan a nivel experimental, bajo condiciones extremadamente controladas; esto quiere decir que se encuentran lejos de ser extrapolados para aplicaciones directas en humanos. Por lo tanto, sus conclusiones no deben llevarnos a pensar: “voy a taparme la nariz para no percibir los olores mientras como una torta de cochinita y, así, no subiré de peso”; ¡eso sería absurdo! El mensaje que debemos guardar es que, en condiciones ideales, nuestro cuerpo nos ayuda a mantener un equilibrio mediante la transmisión de señales entre neuronas hipotalámicas que nos sugieren comer o dejar de comer, de manera que podamos conservar un peso saludable.

Al mismo tiempo, debemos tomar en cuenta que este equilibrio energético tiene límites, pues la biología está siempre en estrecho contacto con la psicología, la sociedad, la cultura, la educación, la economía y hasta las políticas públicas, y todas ellas tienen una gran influencia sobre el comportamiento

alimentario y el peso corporal. En el caso de México, sufrimos un gran problema de obesidad infantil y adulta a nivel nacional, en gran parte como consecuencia de una falta de políticas públicas eficaces para promover la educación en el tema de salud y nutrición, así como de la disponibilidad exagerada de alimentos altamente energéticos. Asimismo, en el caso de algunas condiciones patológicas del comportamiento alimentario (como la anorexia nerviosa o la bulimia), sabemos que existe un desequilibrio importante en otros aspectos del individuo, sobre todo psicológicos, que impactan de manera negativa los circuitos neuronales implicados en la alimentación.

Poco a poco vamos conociendo más a detalle la neurobiología que dirige nuestro comportamiento alimentario; por ejemplo, la implicación del olfato en la manutención del balance energético. Hoy las neurociencias y la nutrición se enfrentan a una situación compleja para descifrar la manera en que estos sistemas interactúan, tanto en situaciones normales como en patológicas. Una vez que hayamos comprendido de manera íntegra los circuitos involucrados en estos procesos, podremos encontrar estrategias eficaces para combatir la pandemia de obesidad y diabetes que tanto nos ocupa.

#### Ashley Castellanos Jankiewicz

INSERM U1215, Universidad de Burdeos.  
ashley.castellanos-jankiewicz@inserm.fr



#### Lecturas recomendadas

- Chen, Y. *et al.* (2015), "Sensory detection of food rapidly modulates arcuate feeding circuits", *Cell*, 160 (5):829-841.
- Chiquete, E. y Tolosa, P. (2013), "Conceptos tradicionales y emergentes sobre el balance energético", *Revista de Endocrinología y Nutrición*, 21(2):59-68.
- González Jiménez, E. y Schmidt Río Valle, J. (2012), "Regulación de la ingesta alimentaria y del balance energético; factores y mecanismos implicados", *Nutrición Hospitalaria*, 27(6):1850-1859.
- Pérez Lizaur, A. (2014), *Sistema mexicano de alimentos equivalentes*, 4.ª ed., México, Fomento de Nutrición y Salud.
- Riera, C. E. *et al.* (2017), "The sense of smell impacts metabolic health and obesity", *Cell Metabolism*, 26 (1):198-211.
- Soria Gómez, E. *et al.* (2014), "The endocannabinoid system controls food intake via olfactory processes", *Nature Neuroscience*, 17(3):407-415.
- Soria Gómez, E., Bellocchio, L. y Marsicano, G. (2014), "New insights on food intake control by olfactory processes: the emerging role of the endocannabinoid system", *Molecular Cell Endocrinology*, 397(1-2):59-66.

# Chocolate: herencia mesoamericana para el mundo

En la cultura maya se dio el máximo esplendor del cacao; después los aztecas extendieron su uso como pago de tributos y los españoles llevaron la bebida de chocolate al mundo. El mayor número de especies del género *Theobroma* se encuentra en la región amazónica. Los cultivos tradicionales de cacao son ecológicamente sustentables y garantizan la obtención de un producto de alta calidad.

Un amanecer soleado, con una brisa fresca que proviene del Golfo de México; es un día especial para los mayas chontales porque se conmemora la primera cosecha de cacao del año. El sacerdote mayor se encuentra en la cúspide de la pirámide principal en el centro ceremonial de Comalcalco. Lo acompañan su séquito y la familia real; los más respetados guerreros de la región flanquean las escalinatas que descienden de la cima y custodian la base de la pirámide. Han llegado comitivas de toda la provincia de la Chontalpa a la ceremonia para pedir a los dioses del *Popol Vuh* por un año más de abundancia y paz. Los espectaculares rugidos de incontables monos aulladores en la selva circundante hacen temblar las ceibas, árbol sagrado de los mayas.

Repentinamente, un silencio sepulcral desciende sobre la ciudad sagrada, al tiempo que el sacerdote mayor levanta el fruto del cacao y la copa con la bebida amarga hacia el cosmos.







■ **El cacao en la cultura prehispánica**

■ Según los arqueólogos e historiadores, los olmecas (por análisis químicos que establecen el uso del cacao a partir del 1900 al 1500 a.n.e.), y principalmente los mayas (a partir del Clásico Temprano, del 150 al 650), impulsaron el máximo esplendor del cultivo del cacao, para usarlo como bebida sagrada y también como producto de trueque o moneda (por ejemplo, un guajolote valía unos 200 granos de cacao; un huevo, tres granos).

El cacao (*Theobroma cacao*; *Theo*: dios, *broma*: alimento) y las bebidas derivadas de éste se usaron ampliamente en otros pueblos prehispánicos, como las culturas mixteca, tlaxcalteca y azteca o mexicana. Estos últimos dominaron a los mayas de la región de Chiapas, de donde provenían sus tributos de cacao; de manera particular, les interesaba una especie conocida como cacao lagarto (*T. pentagonum*), la cual asociaban con *Cipactli* (cocodrilo en náhuatl), quien era la anciana o rectora de los aztecas. El cocodrilo nace de un huevo enterrado en una madriguera, y se dice que una planta surge del montículo de donde nació el cocodrilo, la cual representa al futuro árbol de la vida que conecta el inframundo con la tierra y el cielo. Así, el cocodrilo es una imagen poderosa para las culturas prehispánicas: ha sido representado en la cultura maya como un árbol gigante –la ceiba– cuyo fruto tiene una forma ovoide semejante al fruto del cacao, y al igual que el cacao en su interior las semillas están rodeadas por un material blanco parecido al algodón.

En la región del actual estado de Hidalgo, los toltecas asociaban el árbol de la vida con el junco acuático, o *tol* en náhuatl, el cual dio su nombre a la zona arqueológica de Tula. La mitología tolteca sugiere que el dios Quetzalcóatl (serpiente emplumada en náhuatl) sembró las semillas de cacao en el estado de Tabasco antes de transformarse en el planeta Venus (la estrella de la mañana), que además era el objeto astronómico de mayor importancia y estudio para los mayas.

Cuando se analizan las esculturas de las zonas arqueológicas y se visitan los museos es posible distinguir una clara asociación entre el fruto del cacao, los monos y las aves (en particular el quetzal); pero es

aún de mayor relevancia la relación entre la palabra *cacao* y un pez de dos aletas. Esto se explica a partir de los glifos, en donde la sílaba *ka* (se deriva del maya *kay*: pez) significa una aleta –luego se repite– y la sílaba *wa* se refiere al brote de una planta. Cuando se forma el vocablo *kakawa* se refiere a un pez de dos aletas que tiene propiedades de sobrevivencia y vuelve a brotar después de las sequías.

La palabra *kakawa* existía ya en el año 400 en el *Popol Vuh*, el libro sagrado de los mayas; ahí se resalta de manera particular a los gemelos Hunahpú e Ixbalanqué, dos héroes que sufren varias metamorfosis a diferentes formas de vida, tanto animales como vegetales. En una de sus aventuras los gemelos son engañados y condenados a muerte por los señores del inframundo, pero logran resucitar del Xibalbá (inframundo) en forma de peces. El pez que se asocia con el cacao es el bagre o pez gato, que aparece comúnmente adornando las vasijas ceremoniales encontradas en tumbas reales mayas de diferentes sitios arqueológicos. Al recuperar su forma humana, Hunahpú e Ixbalanqué logran matar a los dioses del Xibalbá y se restablece el ciclo de la vida. El padre de los gemelos (1-Hunahpú) se convierte en el maíz, y ellos se integran al cosmos como el Sol y la Luna. El cacao nace y crece bajo la sombra de grandes árboles, por lo que en las culturas prehispánicas se le asocia con el inframundo; mientras que el maíz, al crecer bajo el sol, se considera el sitio terrenal.

Otro relato del *Popol Vuh* explica que Xmucané, madre de 1-Hunahpú y abuela de los gemelos Hunahpú e Ixbalanqué, es la creadora de bebidas a base de cacao entero o mezclado con maíz (por ejemplo, el pozol, bebida tabasqueña que combina el cacao tostado con el maíz cocido). Otra versión del mito sugiere que 1-Hunahpú es el dios tanto del maíz como del cacao; aprendió el arte del cacao durante su estadía en el Xibalbá y fue quien creó las primeras bebidas a base de chocolate antes de transformarse en maíz y regresar a la tierra. Al parecer, Xmucané y 1-Hunahpú son responsables de las bebidas a base de cacao actuales, y también se asocian a la tradición de ofrecer chocolate en los altares de los difuntos durante las fiestas del Día de Muertos. Asimismo, en las culturas mesoamericanas era costumbre ofrecer



cacao a los recién casados en memoria de 1-Hunahpú y Xkik (madre de los gemelos). Durante los banquetes ceremoniales se consumía una gran cantidad de alimentos y bebidas a base de maíz y chocolate, los cuales eran presentados junto con regalos de posesiones prestigiosas (como vasijas o costales con semillas de cacao) con la finalidad de forjar alianzas y mejorar las relaciones sociales y económicas.

La costumbre maya era beber el chocolate frío, pero los mexicas crearon una bebida conocida como *xocoatl* que se tomaba tibia o caliente, y para reducir el sabor amargo del cacao se emplearon otros condimentos como la vainilla, el pochote y los chiles. Además, en las culturas prehispánicas el cacao era un remedio medicinal contra la disentería, la tos, para mejorar la digestión o ayudar al funcionamiento del hígado.

Existe una gran variedad de bebidas prehispánicas que incluyen cacao; actualmente se pueden probar en diferentes estados del país. Por ejemplo, el pozol, hecho a base de maíz cocido o masa de maíz y cacao tostado mezclado con agua (Tabasco); el tascalate, preparado con tortilla tostada, cacao tostado sin cascarilla, achiote, canela y azúcar mezclado con

agua (Chiapas); el chorote, a base de maíz cocido, cacao tostado molido y azúcar mezclados en agua (Tabasco); y el tejate, hecho con maíz, cacao, hueso de mamey, rosita de cacao y chile pasilla o azúcar mezclados en agua (Oaxaca).

### Comercio del cacao antes y después de la llegada de los españoles

Las culturas del Altiplano Mexicano entraron en contacto con los mayas a partir del siglo XII, tras lo cual adoptaron el cacao y su bebida de chocolate. Gracias a los comerciantes y conquistadores mexicas dicha cultura se extendió rápidamente por todo el Altiplano y Mesoamérica, e incluso llegó a la región occidental de México (Jalisco y Colima). Los granos de cacao se convirtieron en la moneda de todos los pueblos mesoamericanos, y por lo tanto representaban el tributo que pagaban los sitios sometidos por los mexicas, como es el caso del Soconusco en el sureste de Chiapas. El sistema de medida se hacía a partir de la cantidad que un solo hombre podía cargar en sus espaldas; la medida se llamaba *carga*, que correspondía a 30 kilogramos o aproximadamente 1 200 granos de cacao.

Existían diferentes tipos de cacao. Las clases humildes utilizaban los granos más pequeños, conocidos como *talcacahauhtl*, para la preparación de su chocolate. Las clases altas y los sacerdotes empleaban los granos más grandes y gruesos, conocidos como *cacahuaquahuitl*. Otros tipos de cacao se utilizaban principalmente para las actividades comerciales y el pago como tributo a las culturas del Altiplano.

Más allá estaba la zona de la Chontalpa en Tabasco, que no estaba sometida por los mexicas y tenía una gran producción de cacao; por lo tanto, era un lugar de alta comercialización para abastecer a los mercados del Altiplano Mexicano (por ejemplo, el mercado de Tlatelolco en Tenochtitlan) con cacao libre de impuestos. El comercio con los mexicas en la Chontalpa se daba en una aduana establecida en la localidad de Cupilco, en el municipio de Comalcalco, donde todavía se puede identificar a los descendientes de los mexicas, principalmente porque conservan la lengua náhuatl.



Se cree que la primera llegada del chocolate a España se dio por el año 1544. Debido a la importancia económica del cacao, los conquistadores se enfocaron inicialmente en su uso comercial, pero tiempo después adoptaron la cultura del chocolate. El gusto por esta bebida hizo que en los años subsecuentes la producción se elevara, y ya para los siglos XVII y XVIII la demanda de cacao en la Nueva España ascendía a más de dos toneladas por año. En consecuencia, se tuvo que importar cacao de otras regiones de Centroamérica y desde Venezuela. El cacao proveniente del exterior de la Nueva España era pagado con plata de las minas mexicanas, y parte del producto que se exportaba para España se intercambiaba por bienes de manufactura y alimentos.

El comercio del cacao se volvió lucrativo, pero la mano de obra indígena era insuficiente. Conforme avanzaba la Conquista, la situación de los indígenas empeoraba, tanto por las epidemias como por los abusos de los españoles, quienes sometían a las personas con pagos mínimos e impuestos excesivos. Por lo tanto, la mano de obra se reemplazó de manera paulatina con los esclavos traídos de África. Ellos eran intercambiados por granos de cacao; un esclavo

podía costar de 600 a 4 000 granos, dependiendo de sus habilidades (como cantar o bailar). Este tipo de situaciones llevó a la región de la Chontalpa en Tabasco y al Soconusco en Chiapas a perder su posición privilegiada como máximos productores de cacao. Además, el abandono de las tierras abrió las puertas a la importación del cacao de Venezuela. Asimismo, como todo gran comercio, el cacao estuvo sujeto al contrabando y los fraudes por las prohibiciones comerciales que existían entre los dos grandes virreinos de América: la Nueva España y el Perú. Por ejemplo, el cacao de Guayaquil (Ecuador) no podía ser comercializado en la Nueva España, en donde sólo aceptaban el cacao venezolano, lo que provocó el desarrollo del comercio ilegal a través del Océano Pacífico.

Eventualmente, el cacao perdió su fuerza económica como moneda de cambio, no sin antes haber desatado la avaricia entre los conquistadores de la Nueva España, quienes —como Pedro de Alvarado— fueron responsables de saquear las bóvedas de Moctezuma; se llevaron consigo millones de granos de cacao. Además, los piratas de diferentes nacionalidades realizaron saqueos de grandes cargas de cacao en puertos de la Nueva España. Más tarde, cuando el cacao y el chocolate ya estaban bien establecidos en la dieta de los europeos, la Inquisición prohibió la bebida entre los eclesiásticos debido a los instintos carnales que desataba en las personas, pues las llevaba a cometer pecados capitales.



### Recuadro 1. El centro de origen del cacao

El cacao pertenece a la familia Malvaceae y al género *Theobroma*, el cual está compuesto por 22 especies distribuidas a lo largo de la zona tropical del continente americano en las selvas lluviosas (precipitaciones  $\geq 2\,000$  mm). Los estudios actuales consideran que el centro de origen del cacao está en la región amazónica de América del Sur, debido a la alta diversidad tanto genética como en variedades que ahí existen. Subsecuentemente, se sugiere que el cacao migró hacia Centroamérica y el sur de México. Se cree que la mayor diversificación de las especies de cacao se dio a partir del levantamiento de la cordillera de los Andes, la cual representa una barrera geográfica que deja aisladas a varias poblaciones; a partir de dicho aislamiento, éstas siguieron historias evolutivas independientes. Sin embargo, existen especies de amplia distribución geográfica, como son *T. cacao* y *T. grandiflorum*, que también han sido transportadas por los habitantes a lo largo de la región tropical de América con fines de autoconsumo y de comercio.

### El origen y las plantaciones de cacao en México

Se sabe que antes de los mayas la cultura olmeca utilizó el cacao; fueron los primeros en domesticarlo hace más de 3 000 años. El cacao domesticado por estas culturas mesoamericanas es la variedad *criollo*, una de las más cotizadas a nivel mundial; se encuentra distribuida desde Venezuela y Colombia hasta el sureste de México. De acuerdo con estudios moleculares, los cacaos cultivados por los antiguos mexicanos provienen de especies silvestres localizadas en la región sureste del país, y no de la región amazónica de América del Sur (véase el Recuadro 1).

También se han analizado los restos de **teobromina** en vasijas halladas en la zona arqueológica de San Lorenzo en Veracruz, lo que confirma que los olmecas ya consumían el cacao en forma líquida; pero todavía no hay evidencia sólida de que ellos obtuvieron el chocolate. Dicho producto parece ser legado de la cultura maya.

En el sureste de México los mayas sembraron extensas áreas de cacao criollo sin destruir la selva, lo cual permitió que se mantuvieran los estratos del dosel (árboles madre que proveen sombra al cultivo), los árboles de talla mediana y la vegetación del sotobosque (arbustos, plantas no leñosas y árboles de talla no mayor a 4 m). Cuando el cultivo de cacao se realiza de la manera tradicional (con sombra), se convierte en un cultivo amigable para la conservación de las selvas y sus animales; además se produce un cacao de mejor calidad que aquellos que provienen de cultivos expuestos al sol. Actualmente el cacao se encuentra en vastas extensiones de la región occidental de África (Camerún y Costa de Marfil), donde sus plantaciones son al sol; ello implica una

alta tasa de deforestación de las selvas, la extinción de muchas especies, tanto de plantas como de animales, y un cacao de menor calidad.

En el caso de México, los cacaotales tradicionales bajo sombra, en conjunto con la restauración ecológica, representan una de las mejores opciones de conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de los nutrientes del suelo y un importante sustento para las familias. Dentro de los cacaotales de sombra se encuentra una gran variedad de plantas comestibles de autoconsumo, como la pimienta, la canela, el aguacate, la vainilla, el plátano y el achiote. No por nada la vainilla y el achiote eran comúnmente utilizados, junto con el cacao, en la preparación del chocolate (la tríada del chocolate). El manejo tradicional de las plantaciones de cacao permite mantener ciclos ecológicos sin la necesidad de utilizar agroquímicos; por ejemplo, el achiote crece bien al sol y los antiguos mayas lo sembraban en las orillas de su cacaotal porque contiene químicos que sirven como repelente natural contra las plagas. Por su parte, la vainilla atrae a los polinizadores y

#### Teobromina

Estimulante químico del cacao, similar a la cafeína.





dispersores, y los árboles madre proveen alimento y refugio para muchas especies de animales. Por lo tanto, el sistema tradicional del cultivo de cacao es un agroecosistema que protege la diversidad tanto biológica como cultural de la región.

Desafortunadamente, las políticas públicas de los estados del sureste, principalmente Tabasco (como ejemplo está el Plan Chontalpa), se han enfocado de manera errónea en financiar otros cultivos (caña y arroz) y la ganadería extensiva. Éstos destruyen la selva, degradan los suelos y erosionan la cultura etnológica de la región; asimismo, propician que los campesinos eliminen sus cacaotales de sombra para dedicarse al cultivo de moda, sin importar las consecuencias ecológicas a corto y largo plazo. El cacao es nativo de nuestro país, y el chocolate de los mayas es un legado cultural; por lo tanto, debería recibir mayor atención que el cultivo del café en México.

■ **El proceso de obtención del chocolate y sus productos derivados**

■ El chocolate se obtiene de la semilla del fruto del árbol de cacao. Este producto es de sabor amargo y contiene muchas propiedades benéficas para la salud: activa el sistema circulatorio, es antioxidante y estimula la función cerebral, principalmente debido a la teobromina y el alto contenido de grasas saludables.

En general se reconocen tres tipos de cacao por sus características morfológicas: el criollo, el trinitario y el forastero. El tipo criollo es el cacao de mayor calidad por su alto contenido de grasa. Sin embar-

go, actualmente se encuentra en peligro debido a factores como las enfermedades por hongos, la hibridación con otros tipos de cacao y la destrucción de las selvas. A mediados del siglo pasado el cacao de tipo criollo predominaba en el estado de Tabasco, pero hoy es raro encontrarlo. Tiene una producción menor a 5% a nivel mundial y a su vez es altamente cotizado por sus propiedades de sabor y contenido. Por otra parte, el tipo trinitario es una cruce entre el cacao criollo y el forastero; éste tiene una mayor resistencia a las plagas y por eso se prefiere en muchos lugares. El cacao de tipo forastero es considerado como corriente debido a su sabor y menor contenido de grasa; este tipo de cacao ha sido ampliamente utilizado en programas de mejoramiento y está distribuido a nivel mundial, lo que hace que fácilmente se mezcle con las variedades locales.

El chocolate está constituido de dos partes: la grasa y la cocoa. La calidad del chocolate se mide en función del contenido de grasa; los granos criollos pueden contener hasta 60% de grasa, mientras que las otras variedades fluctúan entre 40% y 48% de grasa.

El procedimiento tradicional para su obtención consiste en los siguientes pasos: 1) se cosecha el fruto o mazorca de cacao; 2) se abren las mazorcas, se extraen las semillas o granos de cacao y se dejan fermentar de tres a cuatro días; 3) se lavan las semillas y se dejan secar al sol; 4) una vez seco el cacao se tuesta y, finalmente; 5) se remueve la cáscara y se muele para obtener lo que se conoce como licor de cacao, es decir, el chocolate puro.



El sabor amargo del chocolate puro varía dependiendo del proceso de obtención. Normalmente, entre más días de fermentación tenga, más amargo –y en ocasiones ácido– será el sabor. El proceso tradicional que utilizaban los mayas genera un sabor amargo suave no ácido, el cual es muy agradable al gusto, en especial para aquellas personas acostumbradas al azúcar. Por lo general, las personas asocian al chocolate con el sabor dulce de las golosinas; sin embargo, muchos de los productos que se venden como chocolates mayormente están compuestos por azúcar y un poco de cocoa.

Cabe mencionar que las propiedades del cacao no son las mismas una vez que es procesado; es decir, cuando es convertido en cocoa. Al ser procesados los alimentos pierden siempre la mayor parte de sus propiedades. La cocoa es la parte del chocolate que se obtiene cuando el cacao entero se pasa por prensas para retirar la grasa, ¡que es donde está la teobromina y la mayoría de las propiedades saludables del chocolate!

Entonces, ¿realmente nos gusta el chocolate y sus propiedades saludables, o más bien preferimos un subproducto del chocolate disfrazado con azúcar? No tiene nada de malo disfrutar las golosinas, pero es mejor cuando sabemos lo que realmente estamos consumiendo.

### ¿Cómo vivir la experiencia del chocolate en México?

En el municipio de Comalcalco en Tabasco existen fincas abiertas al público y que ofrecen recorri-

dos turísticos para conocer el proceso de la obtención del chocolate. Entre éstas, la Finca Cholula es la más antigua y de mayor tradición; fue fundada hace más de 200 años por frailes franciscanos provenientes de Cholula (Puebla) y tiene más de 100 años como finca cacaotera. Asimismo, es la única que mantiene el proceso artesanal típico maya en la preparación del chocolate y está fuertemente involucrada con la conservación biológica. Toda persona ávida de conocer la cultura maya y experimentar el proceso artesanal del chocolate debería tomar unas vacaciones y visitar la Finca Cholula, en donde sus anfitrionas –la señora Marina y su hija Ana Marina– los harán sentir como en casa; y después podrán conocer la zona arqueológica de Comalcalco, que se encuentra a un costado.

### Diego Santiago Alarcón

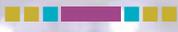
Instituto de Ecología, A. C.  
diego.santiago@inecol.mx



### Lecturas recomendadas

- Artes de México y del Mundo (2011), *Chocolate: cultivo y cultura del México antiguo*, núm. 13.
- Motamayor, J. C. *et al.* (2002), “Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas”, *Heredity*, 89:380-386.
- Recinos, A. (2013), *Popol Vuh: las antiguas historias del Quiché*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Thomas, E. *et al.* (2012), “Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the Neotropics reflect genetic differentiation in Pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal”, *PLoS ONE*, 7(10):e47676.
- Whitkus, R. *et al.* (1998), “Genetic diversity and relationships of cacao (*Theobroma cacao* L.) in southern Mexico”, *Theoretical and Applied Genetics*, 96:621-627.

Darío Armando Weitz

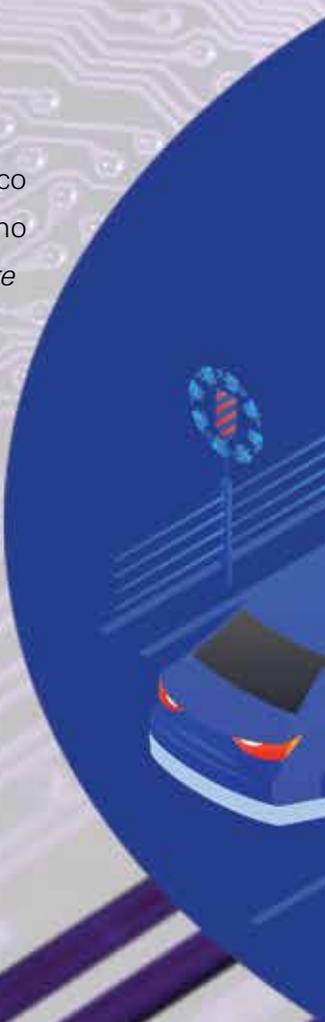


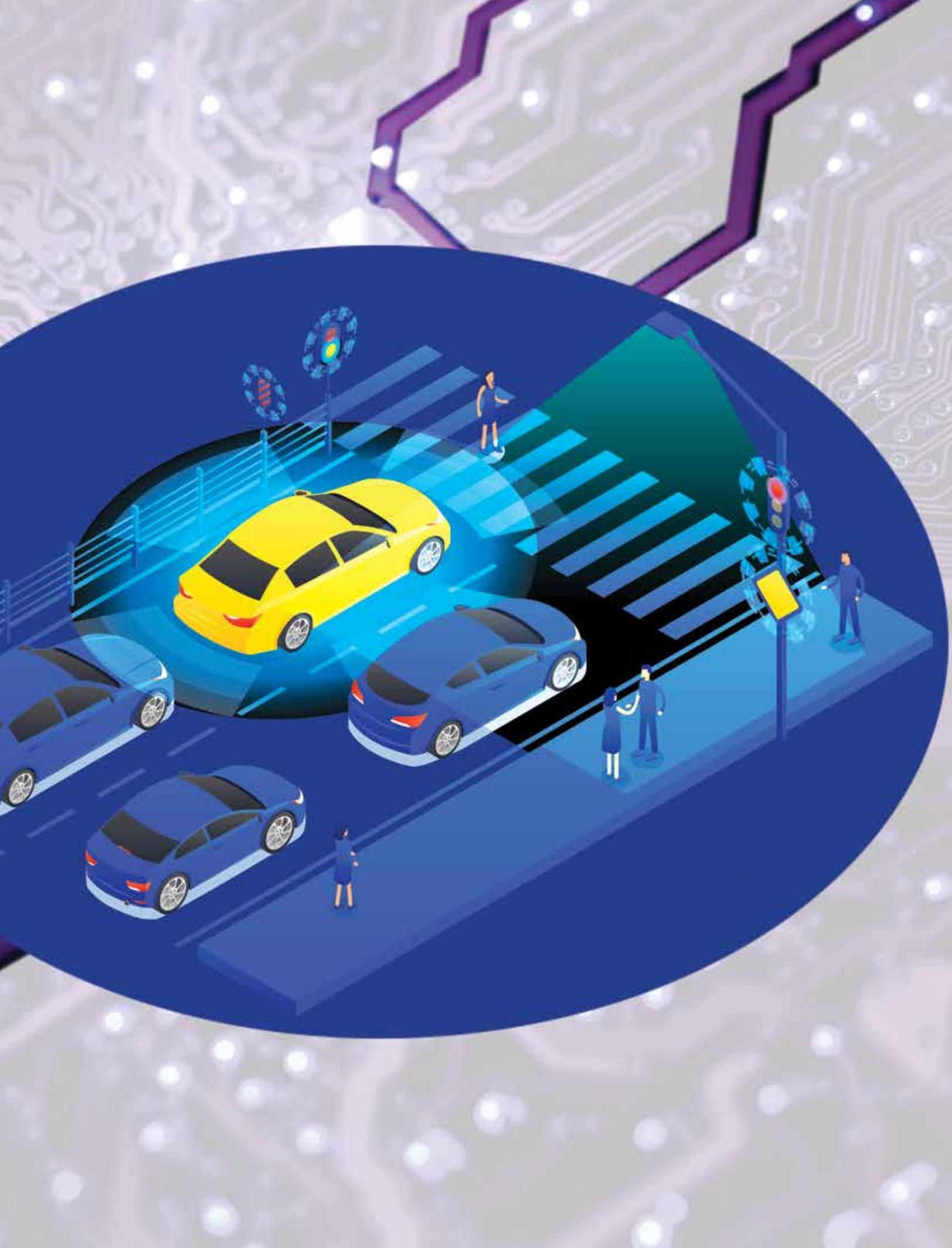
# La mágica tecnología oculta

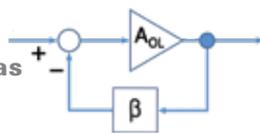
Los sistemas de control están presentes en todo el universo tecnológico moderno. No reciben la misma atención que otros sistemas porque no se observan a simple vista, sino que están incorporados en el *software* de los procesadores informáticos. Se basan en el principio de retroalimentación (o realimentación), que permite obtener sistemas precisos, resilientes, insensibles a influencias externas y al deterioro de los componentes.

A finales de la Segunda Guerra Mundial se puso en evidencia una situación muy particular: diferentes ramas de la ingeniería utilizaban la misma tecnología, pero habían llegado a ella por caminos totalmente separados e ignoraban que compartían el mismo principio fundamental.

Los *sistemas de control* estaban presentes en la generación y transmisión de electricidad, en el control de procesos industriales, en el guiado automático de barcos, en los pilotos automáticos de aviones civiles y militares, en la telefonía de larga distancia, en la regulación de calderas y en los sistemas más avanzados de defensa antiaérea. Todos compartían el mismo principio fundamental: poseían un lazo de retroalimentación (o realimentación, *feedback*). A través de éste, una señal relacionada con la salida de un sistema real se realimenta para compararla con una señal de referencia. Se denomina retroalimentación negativa cuando la señal realimentada se resta de la señal de referencia; es retroalimentación positiva cuando se suman ambas señales. La retroalimentación aparece en numerosos sistemas naturales: los organismos regulan sus condiciones fisiológicas, térmicas y químicas mediante un proceso realimentado denominado homeostasis; el clima







del planeta depende de interacciones realimentadas entre la atmósfera, los océanos, el sol y los suelos. Esta historia se enfoca en los lazos de retroalimentación de los sistemas ingenieriles creados por el ser humano.

■ **La carta que llegó a tiempo**

■ Históricamente, el primer camino lo marcó la regulación de la velocidad en las máquinas de vapor. A principios del siglo XVIII el viento y el agua eran las fuentes principales de energía. En 1712 aparece un formidable competidor: el vapor. Los inventores ingleses Thomas Savery y –posteriormente– Thomas Newcomen fabrican máquinas de vapor utilizadas para extraer el agua del interior de las minas de carbón y estaño. Más adelante se comenzó a utilizarlas en la industria textil para proveer energía a los telares. No obstante, estas máquinas tienen un gran defecto: no pueden mantener constante la velocidad de salida, lo cual afecta seriamente la calidad del producto final. Se hace imprescindible agregar un dispositivo –un regulador– que permita mantener constante la transferencia de energía desde la máquina de vapor al telar.

James Watt, inventor escocés nacido en Greenock en 1736, no tuvo una educación formal debido a su delicado estado de salud. A pesar de ello, su espíritu autodidacta lo condujo inicialmente a fabricar instrumentos matemáticos, pero pronto comprendió que en las máquinas de vapor estaba el germen de una revolución. Watt se asoció con Mathew Boulton, propietario de un taller metalúrgico en Birmingham, para fabricar equipos con un nuevo diseño; en pocos años se convirtieron en la empresa de máquinas de vapor más importante de Inglaterra.

Comenzaron por construir en las cercanías de Londres un molino harinero impulsado por máquinas de vapor. Si bien fue un pésimo negocio –un incendio destruyó el molino en 1791–, los constantes viajes de Boulton desde Birmingham hacia Londres, en los que observaba numerosos molinos en el camino, se tradujeron en una carta que Boulton le escribió a su socio describiéndole un dispositivo inventado por Thomas Mead en 1787. Se trataba de

un aparato basado en un péndulo centrífugo doble cónico que permitía detectar la velocidad del viento e intentaba ajustar la separación entre las piedras del molino para conseguir una presión constante sobre el grano. No era un regulador de velocidad, sino un dispositivo a lazo abierto –sin retroalimentación– y que Mead rápidamente patentó. En esa patente propuso un esquema para un regulador de velocidad de lazo cerrado, pero no hay evidencias de que el mismo fuera aplicado en algún molino de viento.

Pocas veces en la historia de la tecnología una carta ha llegado en un momento tan apropiado: algunos días antes, Watt había perfeccionado una válvula mariposa para la regulación manual de la velocidad de sus máquinas de vapor. Era una válvula muy liviana que requería poca fuerza para su operación. Rápidamente el inventor se dio cuenta de que podía combinarla con el péndulo centrífugo que su socio le describía en la carta –con fecha del 28 de mayo de 1788–. Comenzó a trabajar y, según el registro, para diciembre ya tenía el primer dibujo del regulador centrífugo *fly-ball* que Boulton y Watt incorporan a su máquina de vapor. El diseño (véase la Figura 1) incluía un péndulo con dos esferas metálicas suspendidas por dos brazos articulados; estaba acopla-



Figura 1. Péndulo centrífugo inventado por T. Mead y adaptado por J. Watt y M. Boulton.

do sobre la válvula de admisión del vapor de forma tal que un aumento en la velocidad de la máquina producía un incremento de la velocidad centrífuga, el alejamiento de las esferas del eje de rotación y el correspondiente cierre de la válvula de admisión. El objetivo del regulador centrífugo era mantener una velocidad constante de la máquina independiente de las condiciones de carga. El primer diseño, concluido en 1789, tiene serias desventajas: sólo provee control proporcional y, por lo tanto, el control exacto de velocidad se da en una sola condición operativa; operaba en un rango reducido de velocidades y requería un mantenimiento riguroso. A pesar de ello, el funcionamiento de esa máquina de vapor fue muy superior al de otros modelos de la época. Pronto los socios se enriquecieron con los numerosos pedidos de fabricación que comenzaron a recibir.

En este momento de la historia Boulton y Watt son conscientes de que no pueden patentar el regulador de velocidad porque –básicamente– adaptaron el péndulo centrífugo de Mead a la válvula mariposa del escocés. Deciden mantenerlo en secreto: no hay anuncios en las sociedades científicas ni escritos a la Oficina de Patentes. Pero el éxito en las ventas no podría pasar inadvertido y los competidores comienzan a copiar el diseño, que no estaba protegido por una patente. El primer modelo de la competencia aparece en 1793, y durante el siguiente decenio toda Inglaterra observa la instalación de máquinas de vapor que incorporan un regulador de velocidad basado en el péndulo centrífugo. Como resultado, se acelera de manera notable el proceso que caracterizó la denominada Primera Revolución Industrial.

### Una chispa de inspiración

El 2 de agosto de 1927, un joven ingeniero de los Laboratorios Bell (AT&T), llamado Harold Black, tuvo una “chispa de inspiración” durante el viaje que realizaba habitualmente en el *Lackawanna Ferry* sobre el río Hudson para llegar a su trabajo en Manhattan, Nueva York. La compañía telefónica más importante del mundo tenía serios inconvenientes con la distorsión y la inestabilidad en los amplificadores de tubos al vacío cuando los mismos se conectaban

en tándem (repetidoras) para proveer un servicio de telefonía de larga distancia. AT&T necesitaba resolver el problema para expandir el número de líneas telefónicas nacionales e intercontinentales, que eran muy redituables, pero el aumento en el número de repetidoras (amplificadores) se traducía inexorablemente en un aumento en la distorsión de la señal.

A comienzos de la década de 1920 los ingenieros de comunicaciones habían acuñado el término *retroalimentación* para describir el reingreso positivo parasitario de la señal de salida de un amplificador al circuito de entrada. La genialidad de Black radicó en el uso de una retroalimentación negativa para reducir la amplificación en un dispositivo de alta ganancia. Encontró que un esquema de retroalimentación negativa correctamente diseñado podía reducir la distorsión y el ruido, mientras se garantizaba la estabilidad al hacer la ganancia dependiente de una red de retroalimentación negativa, en vez de hacerla depender de elementos activos problemáticos, tal como los tubos de vacío. Escribió la fundamentación matemática del procedimiento en una hoja en blanco que ese día traía el ejemplar del *The New York Times*, diario que leía en el *ferry* mientras se dirigía a su trabajo (véase la Figura 2). Con la sensación

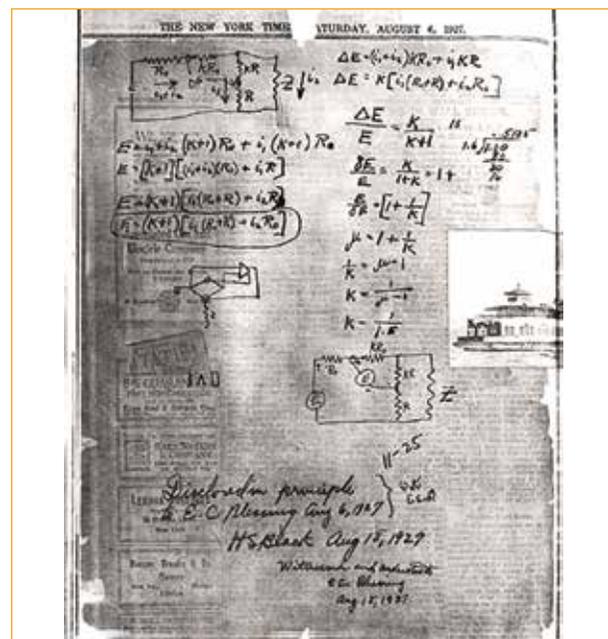
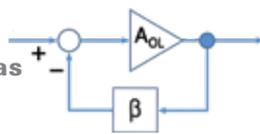


Figura 2. Hoja del *The New York Times* con las anotaciones de H. Black.



de urgencia que da el temor a perder la inspiración, Black detalló los principios de funcionamiento del primer amplificador de retroalimentación negativa estable, y apenas llegó a su oficina reunió a sus colaboradores, les explicó la idea y así comenzó una compleja y extensa tarea para formalizar el invento.

Lo primero fue preparar una solicitud para una patente, que al final constaba de 52 páginas y 126 pretensiones. Sin embargo, la Oficina de Patentes de Estados Unidos la rechazó porque la idea de una retroalimentación negativa se oponía a todas las concepciones teóricas relacionadas con los sistemas de telefonía vigentes en ese momento. Los técnicos encargados de aprobar las patentes se negaban a creer en la posibilidad de un lazo de retroalimentación estable con una ganancia en el orden de las centenas, por lo que, periódicamente, solicitaban nuevas pruebas y resultados.

Black continuó insistiendo con su inspiración, tal como lo indicó en un artículo de 1958: “Años de estudio y muchos fracasos precedieron a esta súbita concepción de la retroalimentación estable. A pesar del inmediato reconocimiento de su importancia, se necesitaron años de trabajo adicional antes de que se le encontrara una aplicación comercial sustancial.” La Oficina de Patentes finalmente aceptó su propuesta en 1937, cuando ya una teoría sobre la retroalimentación negativa tenía fundamentos sólidos y una aceptación generalizada. En 1977–50 años después de aquella “chispa de inspiración”– Black recordaba: “Súbitamente comprendí que si alimentaba la salida del amplificador nuevamente hacia la entrada en fase inversa y evitaba las oscilaciones, obtendría lo que estaba buscando: una manera de cancelar la distorsión en la salida.” AT&T pudo reducir la distorsión en las líneas telefónicas, extender su red de larga distancia y controlar el mercado hasta el inicio de la Segunda Guerra Mundial.

**Tenacidad al límite de la cordura**

Wilbur y Orville Wright asistieron al colegio secundario en Richmond (Indiana, Estados Unidos), aunque no concluyeron los estudios formales debido a la mudanza de su familia hacia la ciudad de Dayton

en 1884. Cuenta la leyenda que el interés por las máquinas voladoras surgió en los hermanos cuando su padre les regaló un helicóptero de juguete hecho de papel, bambú y corcho. Como suele suceder, el juguete se rompió y los hermanos se propusieron –y consiguieron– construir una réplica que funcionó bastante bien.

Los primeros negocios de los Wright fueron una imprenta seguida de un par de periódicos. El espíritu emprendedor los llevó a cambiar de rubro cuando en la última década del siglo XIX Estados Unidos estaba inmerso en una fiebre de consumo de bicicletas. En 1892 abren la Wright Cycle Company, originalmente dedicada a la venta y reparación de bicicletas, y cuatro años más tarde comienzan a fabricar sus propios modelos.

Los hermanos comprenden que algunos conocimientos adquiridos durante la fabricación de bicicletas, relacionados con el equilibrio, la resistencia al viento y el control del vehículo, les pueden ser de suma utilidad para un proyecto más ambicioso: la invención de un aparato volador. El inicio del siglo XX marca el comienzo de casi cuatro años de trabajo y experimentación exhaustivos, frustrantes y extraordinariamente incómodos. El sitio elegido para las pruebas fue en las playas de arena de Kitty Hawk en Carolina del Norte: una oficina postal, un puesto de la Guardia Costera; el calor húmedo y los mosquitos del verano; lluvias intensas, frío glacial y vientos implacables en invierno. Ahí montaron sus tiendas de campaña y cobertizos, y llevaron sus aparatos, herramientas y una tenacidad que desafiaba los límites de la cordura.

Los ensayos realizados con dos planeadores entre 1900 y 1901 les permitieron idear un sistema de torsión de las alas que ayudaba a conseguir el ascenso y el descenso de los aparatos. Pero algo faltaba, porque no lograban sustentación ni control; las arenas de Kitty Hawk evitaban la destrucción total de los planeadores, pero había que recomenzar periódicamente la tarea. Construyeron un “túnel de viento” para probar distintos tipos de alas, hasta que resolvieron el problema de la sustentación y entonces se concentraron en el tema del control. A finales de 1902 incorporaron un timón vertical para completar un

**Pretensiones**

Alcances de una patente de invención.

**Sustentación**

Fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido en dirección perpendicular a la de la velocidad de la corriente incidente. La aplicación más conocida corresponde al ala de un ave o de un avión, superficie generada por el denominado perfil alar.

sistema de control de tres ejes, y así el tercer planeador se convirtió en el primer aeroplano que permitía controlar el balance, el cabeceo y el movimiento alrededor del eje vertical.

Los hermanos Wright regresan a Kitty Hawk el 23 de septiembre de 1903 con un nuevo motor a gasolina, liviano y lo suficientemente poderoso como para propulsar al aeroplano. Comienzan las pruebas... y los problemas; en particular, la rotura de la hélice posterga las pruebas hasta diciembre. Los hermanos se ponen ansiosos: intuyen que están cerca del éxito, pero ya está próxima la Navidad y quieren pasarla en familia. El 12 de diciembre la hélice está en su sitio, sólo que el viento no ayuda. El día 14 les gana la ansiedad, y a pesar del escaso viento deciden hacer un ensayo. Tiran la moneda para decidir quién vuela: gana Wilbur. El aparato se eleva cinco metros, pero el piloto no maneja bien los controles y el aeroplano se entierra en la arena.

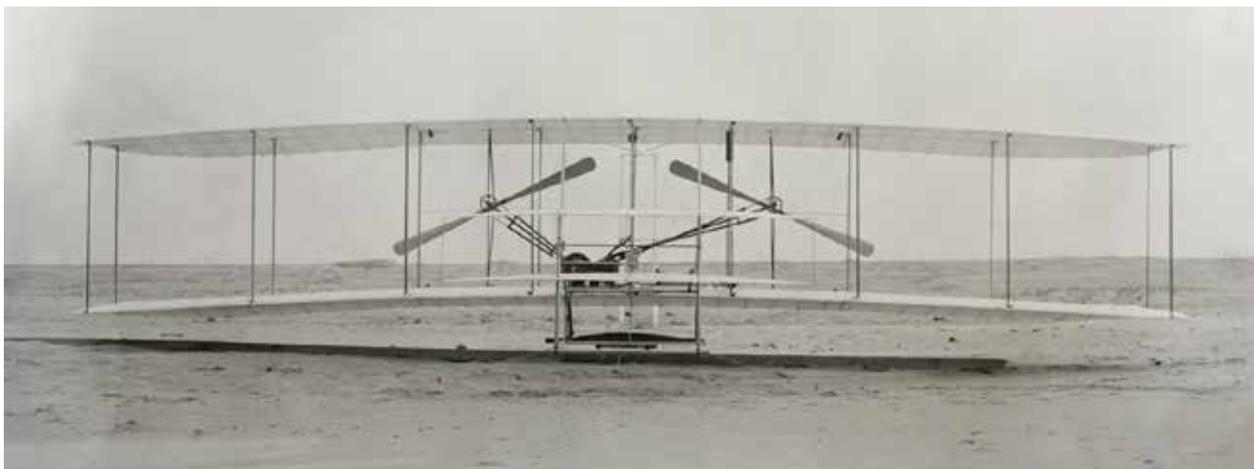
El 16 amanece lluvioso y los hermanos desesperan. Postergan la decisión de volar para el día siguiente. A las 10:30 horas del 17 de diciembre de 1903, con la ayuda de unos integrantes de la Guardia Costera que abandonan el calor de la estufa del cuartel para acompañar a este par de excéntricos que insisten en su máquina voladora, Orville se acomoda en el aeroplano, verifica el funcionamiento de los controles, indica a su hermano que prepare la máquina de fotos y arranca el motor. A las 10:35 el aparato comienza a recorrer la pista, súbitamente se eleva, intenta volver a tierra, pero una hábil maniobra del

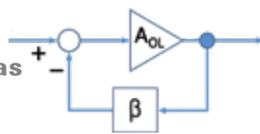
piloto lo vuelve a elevar. Todos gritan alborozados y una foto registra el momento histórico.

La expresión habitual es: “los hermanos Wright inventaron el avión”. Es habitual pero incorrecta: la primera aeronave de ala fija había sido diseñada y probada un siglo antes del *Wright Flyer*. Wilbur y Orville fueron los primeros en construir una aeronave que podía ser controlada para que se mantuviera en el aire. Su capacidad técnica e inventiva les permitió desarrollar un aparato que incluía controles para mover las alas hacia la derecha o la izquierda, para subir o bajar la punta del avión, o bien para girarlo de lado a lado. Estos tres niveles de control fueron la clave para que un aparato más pesado que el aire pudiera mantenerse en vuelo durante el tiempo que le permitía la reserva de combustible. No fue casual que el documento presentado por los hermanos Wright ante la Oficina de Patentes de Estados Unidos (Nº 821,393. Specification of Letters Patent. Patented May 22, 1906) se concentrara en los sistemas de control.

#### **Siempre logrará pasar**

 En el siglo XX se avcina un nuevo campo de batalla: el espacio aéreo. La aviación tuvo un protagonismo menor durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918), utilizada principalmente con fines de reconocimiento. En la década siguiente los aviones aumentan de manera considerable en tamaño, distancia recorrida y velocidad; ya se vislumbra que podrán





acarrear bombas muy destructivas y arrojarlas sobre ciudades, fábricas y barcos. Resulta imperioso mejorar los sistemas de defensa antiaérea porque, tal como lo expresó el Primer Ministro británico Stanley Baldwin, en 1932, “el bombardero siempre logrará pasar”.

Al comienzo de la Segunda Guerra Mundial (1940) se requerían hasta 14 soldados, armados de gráficos y manuales, para realizar la tarea coordinada de detectar la posición del avión enemigo, calcular sus futuras posiciones, armar el cañón antiaéreo y moverlo mediante motores hidráulicos o eléctricos en la dirección calculada. Pronto vendrían las mejoras para acelerar el proceso: se incorpora al sistema una computadora analógica para calcular las trayectorias futuras del objeto volador. Un conjunto de soldados –con largavistas– realiza el monitoreo del avión enemigo y se hacen girar ruedas mecánicas para ingresar la información al sistema, de forma tal que la computadora analógica pueda calcular la trayectoria del aparato por derribar. La siguiente mejora fue la incorporación del radar como elemento sensor. Bajo la conducción del ingeniero Sir Robert Watson-Watt, varias estaciones de radar de alerta temprana estaban operativas en 1940 para monitorear la llegada hacia las costas inglesas de los 2 400 aviones y bombarderos que Hitler disponía enviar antes de invadir la isla.

Los estadounidenses intuyen la necesidad de constituir una organización que pudiera capitalizar los conocimientos y la experiencia científica y técnica para intentar resolver los nuevos problemas

bélicos. En 1940 se forma el Comité Nacional de Investigación para la Defensa, con la participación del Instituto Tecnológico de Massachusetts y los Laboratorios Bell. Se crean el Laboratorio de Radiación y el de Servomecanismos, con más de 4000 investigadores y tecnólogos. En 1943 entra en acción un sistema de defensa antiaérea, denominado M-9/SCR-584 (véase la Figura 3), que fue desarrollado por el Laboratorio de Radiación. Se trata del primer sistema basado en señales de radar que puede hacer seguimiento automático del avión objetivo mediante una computadora analógica y servomecanismos eléctricos; posteriormente se le agregó una espoleta de proximidad adosada al proyectil antiaéreo. El nuevo sistema permitió reducir de miles a cientos el número de proyectiles que se requerían para abatir a un avión enemigo. Inclusive, tuvo una tarea crucial en el derribo de los misiles V1 –primer misil guiado que se utilizó en la guerra para bombardear Londres y Amberes, y precursor de los actuales misiles crucero–. Fue el último intento de Hitler para torcer el rumbo de la contienda, rápidamente contrarrestado por los sistemas automáticos de control de fuego radarizados.

■ **Mágica y oculta**

■ *Control* emerge como disciplina científica al final de la Segunda Guerra Mundial, resultado del esfuerzo técnico y científico desarrollado por los aliados para perfeccionar los sistemas de defensa antiaérea. Se utilizaron lazos realimentados tanto a nivel de sistema como en cada uno de sus componentes (radar-computadora analógica-apuntado automático-comunicaciones). Se puso énfasis en los servomecanismos: sistemas de control realimentados cuya variable de salida es la posición, velocidad o aceleración.

El Laboratorio de Radiación fue disuelto al terminar el conflicto bélico, pero antes de cerrarlo se decidió mantener el sueldo de los investigadores por seis meses más para que publicaran el resultado de sus estudios y desarrollos. El volumen 25, *Teoría de Servomecanismos*, escrito por H. James (físico), N. Nichols (ingeniero de la Taylor Instrument Company)

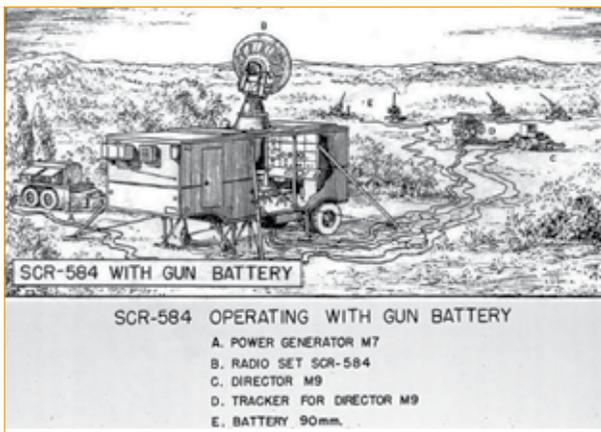


Figura 3. Sistema de defensa antiaérea M-9/SCR-584.

y R. Phillips (matemático) ilustra con claridad que el control tiene una naturaleza multidisciplinaria y que su evolución estuvo guiada por una sinergia entre la academia, la industria y el ejército.

La teoría de servomecanismos estableció los fundamentos teóricos de la nueva disciplina. El breve reinado de las computadoras analógicas se dio en el contexto de su utilización en la implementación de nuevos controladores. Se verificaron avances en el campo de las comunicaciones como resultado de las necesidades en los sistemas de control de fuego antiaéreo y en las salas de control en las industrias de procesos. Tras cientos de años de evolución espasmódica, caótica, pragmática, por caminos totalmente separados, emerge un enfoque holístico, sistémico, que comprende teoría y aplicaciones, y es el punto de partida de una industria moderna y sofisticada que atraviesa las distintas disciplinas de la ingeniería.

Los sistemas de control están presentes en todo el universo tecnológico moderno: generación y transmisión de energía, sistemas de comunicación y transporte, iluminación y energía en edificios, instrumentación y mecatrónica, entretenimiento, armamento y viajes espaciales, control de variables en todos los procesos industriales y sistemas de manufactura, dinámica de procesos económicos, e incontables más.

Sin embargo, muy poco se habla de los mismos, aun en ambientes científicos y tecnológicos. Lo que sucede es que no están a la vista, sino principalmente “escondidos” en el *software* de los procesadores. Observamos con detenimiento y admiración el avión, la industria petroquímica, la computadora, la nave espacial, el misil, el automóvil, el producto manufacturado, pero no el lazo de control realimentado que todos contienen y que cumple sus funciones de manera exacta y confiable. Por ello ha recibido la denominación de “tecnología oculta”, y sólo se manifiesta durante alguna falla grave, tal como fue el desastre nuclear de Chernóbil.

Pero también es “mágica” porque la retroalimentación permite obtener sistemas precisos aunque los mismos posean componentes imprecisos. También logra que los sistemas sean resilientes, a pesar de las perturbaciones externas, y que se pueda crear un comportamiento lineal a partir de componentes no



Figura 4. Vehículo autónomo.

lineales. Debido a la retroalimentación, los sistemas se vuelven insensibles a las influencias externas y al deterioro natural de sus componentes por el paso del tiempo. Ésta permite estabilizar sistemas diseñados de manera inestable (aviones de combate) y les da a los diseñadores nuevos grados de libertad para que mejoren sus productos finales.

Un conjunto de tecnologías disruptivas se apresura a modificar definitivamente la vida de los seres humanos. Tal vez sean los vehículos autónomos o las computadoras cuánticas; tal vez, los avances en genómica o el internet de las cosas. Aún desconocemos su real influencia en nuestra futura vida diaria. Sólo podemos garantizar que la mágica tecnología oculta estará presente en todas ellas.

#### Darío Armando Weitz

Universidad Tecnológica Nacional, Rosario, Argentina.  
dar.wtz@gmail.com

#### Lecturas recomendadas

Moñux Chércoles, D. (2001), “Historia de la automática”. Disponible en: <<http://isa.uniovi.es/~gojea/funding/documentos/historia%20automatica.pdf>>. Consultado el 20 de agosto de 2018.

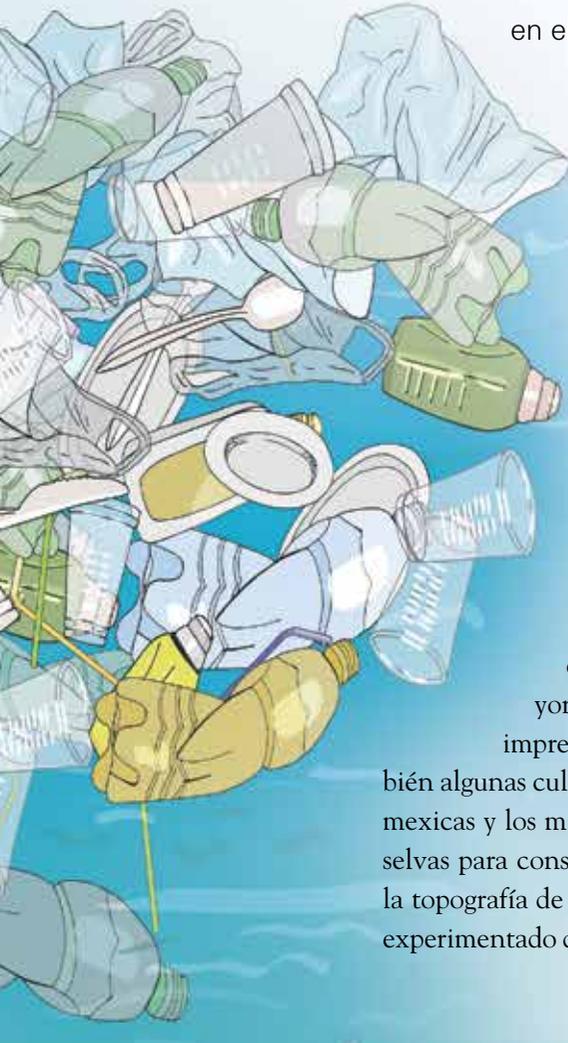
Weitz, D. A. (2013), “Contextos históricos en el desarrollo de los sistemas de control”, *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 2(5):61-68.

David Brailovsky Signoret

# La conservación de la naturaleza

Para conservar la diversidad biológica en México y el mundo debemos pensar en los esfuerzos locales y globales. Asimismo, alentar la participación ciudadana en la construcción de un entorno más equilibrado, en el que debemos y podemos participar todos.

## Civilizaciones y ambientes en colapso

A detailed illustration of various pieces of plastic waste, including bottles, containers, and bags, floating in a blue ocean. The waste is rendered in a style that looks like a collection of cutouts or a collage, with some items appearing to be tied together with yellow string. The background is a gradient of light blue to white, suggesting a bright, sunny day.

La conservación de la naturaleza es un área relativamente nueva en las ciencias biológicas. La especie humana no solía preocuparse por los impactos que tenían sus actividades; así, encontramos ejemplos variados de civilizaciones enteras que colapsaron debido a la destrucción del ambiente. Los fenicios, por ejemplo, para construir sus barcos tuvieron que talar la mayor parte de los entonces ricos bosques que cubrían las serranías de Líbano e Israel. Los mesopotámicos, por su parte, hicieron una explotación tan marcada de los suelos que terminaron por salinizar las capas productivas, lo que debilitó el desarrollo de su civilización. Los Rapa Nui en la Isla de Pascua, con el objetivo de desplazar sus estatuas, talaron la mayor parte de las palmas de la isla, lo cual, junto con la introducción imprevista de ratas en las canoas, condujo a un colapso notable. También algunas culturas mesoamericanas, entre ellas los teotihuacanos, los mayas, los mexicas y los mixteco-zapotecos, arrasaron con grandes extensiones de bosques y selvas para construir sus ciudades, casas y embarcaciones; asimismo, modificaron la topografía de los valles y montañas en su beneficio. Muchas otras culturas han experimentado dificultades similares debido al descuido del ambiente y a los gastos

en campañas militares que llevaron a la destrucción de muchos bosques y selvas. Un estudio interesante y extenso que documenta el colapso de diversas civilizaciones se encuentra en el libro *Collapse*, de Jared Diamond (2005).

Por el contrario, algunas culturas desde tiempo atrás se han enfocado en la preservación del medio natural como una muestra de respeto y reverencia. Así, los budistas protegen incluso a los animales más sencillos como parte de su amor por las formas vivas. Sus prácticas son en cierta manera un acercamiento a la conservación de la naturaleza, por lo que contrastan con la visión antropocéntrica y egoísta que domina en las culturas occidentales, las cuales apenas están valorando los costos y beneficios ambientales de sus paradigmas socioeconómicos.





■ **Primeros esfuerzos de conservación**

■ Las sociedades modernas deben percatarse de que la naturaleza provee todo lo que necesitamos para la vida diaria, por lo que aprovecharla de manera irracional va en contra de nuestra propia existencia. Hasta la Revolución Industrial no se había pensado en el fuerte impacto que el ser humano tenía sobre el medio natural; los únicos esfuerzos de “conservación” consistían en instalar jardines ornamentales, jardines botánicos y parques zoológicos. Pero, de hecho, los zoológicos en su mayoría consistían más bien de jaulas en donde se exhibía a los animales en condiciones deplorables, cosa que aún ocurre en algunos lugares del mundo. Aun así, ciertos jardines y zoológicos fueron muy notables y fincaron las bases para el desarrollo científico.

En la historia encontramos ejemplos como los famosos jardines colgantes de Babilonia; asimismo, los romanos y egipcios coleccionaron plantas y animales de diversa procedencia. En Tenochtitlán existía un zoológico amplio y jardines botánicos tanto en la ciudad como en Oaxtepec; además, muchos pueblos mesoamericanos cuidaban de las aves para obtener plumas para la confección artesanal.

Siglos después, se comenzaron a establecer reservas forestales que dieron lugar a los primeros *parques nacionales*, un concepto basado en criterios de carácter paisajístico y monumental. Sin embargo, en pocas ocasiones se tomaba en cuenta la presencia de especies notorias de **valor sistemático** y ecológico. No fue hasta décadas recientes que se empezaron a ampliar las áreas protegidas, pues se incorporaron métodos ecológicos para identificar las zonas prioritarias para la conservación.

Asimismo, surgieron los conceptos de *sucesión*, de *nicho ecológico* y de *especies indicadoras*. La sucesión se refiere a la transición de una comunidad, por lo general de tipo vegetal, en la cual las plantas colonizan sucesivamente las áreas dañadas por erupciones volcánicas, incendios, tsunamis, huracanes u otros procesos naturales y artificiales de impacto ambiental. Un excelente ejemplo es la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), que comprende más de la mitad del área de Ciudad Universitaria (UNAM), en la Ciudad de México; esta región reci-

bió una serie de flujos magmáticos (lavas) del cercano volcán Xitle hace aproximadamente 1 800 años y hoy resulta de gran interés para la ecología; es como un laboratorio viviente. En este tipo de ecosistemas cada especie tiene una cierta posición o lugar (nicho ecológico); algunas son tan relevantes que se les considera especies indicadoras, pues al estudiarlas es posible valorar el estado de conservación del ambiente en general, o incluso estimar cómo se encuentran otras especies en el mismo.

México es uno de los países megadiversos del planeta, junto con Indonesia, Brasil, Ecuador, Madagascar, Australia y otros. Por tal motivo, se están dando pasos significativos para proteger el ambiente, los servicios ecosistémicos y las especies en riesgo. Actualmente más de 12% del territorio nacional cuenta con la protección de leyes y decretos; hacia el año 2020 más de 20% deberá estar protegido. Sin embargo, falta mucha inversión. A este respecto, existen países donde la inversión es significativa, como Es-

**Valor sistemático**  
Relevancia o utilidad de carácter taxonómico, biodiverso u organizacional de una especie.



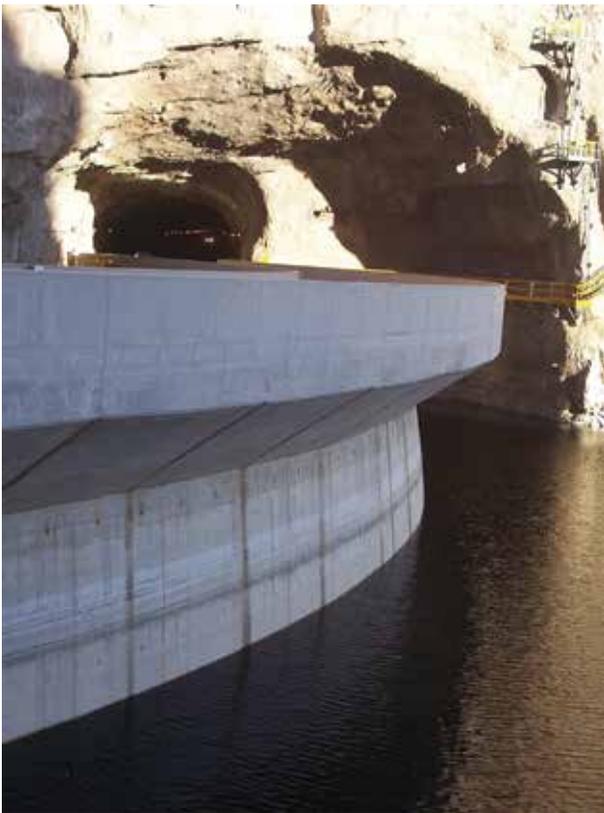
**Figura 1.** Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Los jardines botánicos y los parques zoológicos permiten la conservación *ex situ* de la vida.

tados Unidos, Canadá, diversas naciones europeas, algunos países sudamericanos y Costa Rica.

### La conservación *ex situ*

Conforme a los ejemplos mencionados, la conservación de plantas y animales comenzó hace miles de años en los jardines botánicos y los parques zoológicos. Este tipo de conservación de la naturaleza se conoce como conservación *ex situ* (del latín, que significa “fuera”), pues corresponde a la conservación de organismos vivos fuera de su medio natural.

En el caso de las plantas, la invención de los invernaderos después de la Revolución Industrial ofreció las condiciones idóneas para que especies de todo el mundo fuesen cultivadas fuera de su hábitat natural. Así se iniciaron grandes colecciones en jardines de diferentes tipos; en especial en algunos países de Europa. La conservación *ex situ* de plantas (véase el Recuadro 1) permite preservar a largo plazo el



**Figura 2.** Presa hidroeléctrica de Zimapán. La construcción de grandes obras de ingeniería puede devastar el ambiente; esta presa cubrió la mitad de un cañón y puso en riesgo a las biznagas.

### Recuadro 1. La conservación de las plantas



Banco de semillas y material genético de maíz, CIMMYT.

Por lo general, las plantas son más resistentes que la fauna. Más aún, los bancos de germoplasma (colecciones de semillas viables y cultivos de tejidos) ya han contribuido de manera significativa a la conservación de las variedades y subespecies de numerosos cultivos masivos. En nuestro país, el CIMMYT es un centro de germoplasma que conserva semillas y material genético de las diversas variedades de maíz, provenientes de México y el mundo. Desafortunadamente, son escasos los centros de germoplasma dedicados a la conservación de especies de poca o desconocida importancia socioeconómica.

Debemos considerar que las selvas tropicales están siendo devastadas a un ritmo muy elevado; en especial las selvas mexicanas, indonesias y brasileñas. Junto con los bosques templados de América y Europa, los bosques boreales de América del Norte y Asia, y los bosques australes de Sudamérica y Australia, estos ecosistemas producen cerca de 40% del oxígeno planetario, además de prestar muchos otros servicios ambientales. Otro 60% del oxígeno de la Tierra proviene del fitoplancton marino, que es la base de las cadenas tróficas oceánicas y mantiene la pesca internacional. Asimismo, servicios como la captación de agua de lluvia en los bosques para la recarga de los acuíferos, conocidos ahora como “fábricas de agua”, apenas comienzan a valorarse. Algunos ejemplos incluyen las áreas boscosas de la Sierra Nevada (Zoquiapan-Iztaccíhuatl-Popocatepetl); el Corredor Biológico Desierto de Los Leones-Ajusco-Chichinautzin, para la Ciudad de México; el Bosque de la Primavera, para Guadalajara; y las Cumbres de Monterrey, para las ciudades de Saltillo y Monterrey.



germoplasma vivo (colecciones) o criogenizado (bancos de semillas o tejidos refrigerados). Asimismo, el hecho de guardar los **propágulos** provee a la humanidad con material genético para el cultivo.

**Propágulos** ▶ Estructuras de propagación, fragmentos, tejidos o semillas; también puede incluir gametos.

Existen muchas causas de la pérdida de la biodiversidad: destacan las construcciones masivas, los embalses, la deforestación y la agricultura. Un ejemplo es el de las grandes presas, como Las Tres Gargantas (China), Hoover (Estados Unidos) y Zimapán (México). Cuando se crean estos embalses, muchas de las plantas que crecían en los terrenos inundados desaparecen del medio natural. A su vez, la deforestación también es responsable de la extinción de un sinnúmero de especies, sobre todo tropicales; en dichas zonas un solo árbol puede sostener hasta 300 especies de insectos diferentes, tan sólo el **dosel** contiene hasta 1 100 especies de artrópodos y además pueden existir decenas de plantas en apenas un kilómetro (Dirzo, 1990; Heywood y Watson, 1995).

**Dosel** ▶ Parte o estrato superior de una selva o bosque tropical, formado por un entramado de ramas y plantas colgantes o epifitas (que crecen sobre otras plantas).

La pérdida de la fauna (defaunación) es otro grave problema, pero el hecho de contar con poblaciones reproductivas en zoológicos y reservas animales permite desarrollar proyectos de reintroducción. Algunos ejemplos exitosos incluyen a los bisontes en la región mexicana de Janos, Coahuila, y a los lobos en Yosemite, Estados Unidos. Otros programas conside-

ran al lobo mexicano, algunos osos, felinos mayores y diversas especies de aves en el planeta.

**La conservación *in situ***

La conservación *in situ* se realiza directamente en los ecosistemas, por lo que permite conservar a las especies, los recursos y los servicios. Este tipo de medidas se originó hace poco más de un siglo y ha cobrado auge en las últimas tres décadas. La fundación de los Parques Nacionales impulsó la concientización del público en general en cuanto a la relevancia de proteger los medios naturales y con respecto al gran impacto que las sociedades humanas han tenido y tienen sobre el planeta (véase el Recuadro 2).

Actualmente se ha pasado de enfatizar los aspectos estéticos y monumentales a considerar el diseño y establecimiento de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) con base en la presencia de especies amenazadas, especies indicadoras, así como la prestación de servicios ambientales que complementan los servicios espirituales y de esparcimiento que nos proveen los ecosistemas.

Existen varios tipos de ANP. Las más antiguas son los Monumentos Naturales y los Parques Nacionales. En los últimos 30 años se han creado nuevos tipos de ANP. Los más comunes incluyen las Reservas de la Biósfera, las Reservas Estatales y las Áreas de Conservación de Flora y Fauna. Además existen Regiones Terrestres Prioritarias para el manejo de los recursos.

Las Reservas de la Biósfera, en general, cubren un gran espacio territorial y protegen de forma más estricta el ambiente de los Parques Nacionales, pues estos últimos fueron ideados también como áreas para el esparcimiento humano. El espacio de las ANP suele organizarse en áreas o zonas núcleo —extremadamente protegidas y donde se limita inclusive la actividad científica— y áreas o zonas exteriores de diverso tipo —donde sí se pueden realizar diferentes actividades e incluso el ecoturismo—. Por otra parte, las Reservas Estatales son de carácter local o estatal, y por lo general cuentan con recursos más limitados.

Un problema con el establecimiento de las ANP es que suelen incluir ecosistemas grandes y pasan por

**Recuadro 2. Los primeros Parques Nacionales**

Los Parques Nacionales surgieron en Estados Unidos, al iniciarse el movimiento conservacionista en 1872, año en que se fundó Yellowstone. Galen Clark y John Muir fueron de los primeros en desarrollar e incentivar el interés de la sociedad por la conservación.

En México, la fundación de los Parques Nacionales siguió al movimiento estadounidense. Se crearon El Desierto de los Leones (1876) y el Parque Izta-Popo (1935). La primera ANP fue El Chico, en Hidalgo (Área Forestal Protegida en 1860, Área Natural Protegida en 1898 y ahora Parque Nacional, desde 1982).





**Figura 3.** ANP La Malintzin, en Tlaxcala. Anteriormente un Parque Nacional, es uno de los sitios mejor conservados, con poblaciones de flora alpina, así como fauna y flora de regiones templadas frías. Es importante la interacción de las comunidades para la conservación.



**Figura 4.** Lago Todos los Santos, Chile. La zona de los lagos es una región que conecta a Chile y Argentina a través de pasos entre los Andes. Varios Parques Nacionales permiten la conservación de los últimos bosques de alerces y araucarias en la región sur de estos países.



alto los microambientes y las poblaciones disyuntas, por lo que protegen sólo a ciertas especies, mientras que otras –por su distribución– no pueden ser englobadas en las grandes ANP. Por tal motivo, en las últimas décadas se han empezado a crear pequeñas ANP o Micro Reservas. Éstas son áreas dedicadas a pocas especies y están teniendo mucho éxito en países como Italia, Rusia y España, entre otros. Las Micro Reservas pueden aportar mucho para la conservación de las especies de **distribuciones disyuntas** o divergentes, pero tienen la desventaja de ser pequeñas, con lo que son más susceptibles a las afectaciones. No obstante, sirven como un excelente acercamiento complementario.

**Distribución disyunta**

Se refiere a la existencia de poblaciones aisladas, separadas o divergentes de una misma especie.

Las ANP están siendo interconectadas cada vez más mediante puentes territoriales conocidos como Corredores Biológicos. Un ejemplo notable es el Corredor Biológico Mesoamericano, que pretende conectar las ANP de Norteamérica con la región sur del continente, para englobar así diversos ambientes y preservar una mayor movilidad de especies entre las áreas. Los Corredores Biológicos se han pensado sobre todo para especies de felinos mayores, como el ocelote y el jaguar, entre otros. Muchas veces existe cierto aislamiento geográfico debido a la influencia del ser humano, pero con este tipo de ANP se pretende paliar dicho efecto y permitir el flujo genético entre las poblaciones de algunos animales en peligro de extinción.

**Desplazamiento trófico**

Presión y desplazamiento poblacional a causa de la competencia alimentaria.

■ **Coleccionismo privado, tráfico e introducción de especies exóticas**

Las colecciones privadas también tienen una larga historia y un fuerte impacto por su dimensión y alcance. En ocasiones se han devastado poblaciones completas de plantas amenazadas o en peligro de extinción. Como ejemplo están los coleccionistas de cactáceas y los traficantes de orquídeas; en México han provocado la pérdida de varias poblaciones para surtir el mercado creciente en Estados Unidos y en Europa (República Checa, Rusia, Alemania, Francia, Italia, España y Gran Bretaña).

Actualmente se lleva un control estricto a nivel internacional a través de organismos intergubernamentales como CITES (Convenio Internacional para el Tráfico de Especies Silvestres). No obstante, así como las plantas, ciertos animales se han visto seriamente amenazados y algunos de ellos se han extinguido. Muchas especies de aves, mamíferos y reptiles han sido mermadas por el comercio indiscriminado o por la explotación de los recursos bióticos para el mercado del acuarismo, las mascotas y los zoológicos privados.

Por otro lado, la introducción de especies exóticas puede resultar igualmente devastadora; incluso en algunos casos conlleva problemas de salud pública, como la propagación de virus como el VIH, el Zika y el dengue. Por ejemplo, en México la liberación de peces dulceacuícolas provenientes de otros lugares del mundo ha ocasionado graves efectos de competencia, y ya causó la extinción de alrededor de 17 especies nativas, tanto por el **desplazamiento trófico** como por la llegada de parásitos exóticos.

También se han afectado las poblaciones de insectos, con algunos casos impactantes, como el escape de las abejas africanas en el continente americano. Éstas son una cruce entre abejas de África y de Europa, planeada en un principio con la idea de elevar la productividad agrícola; sin embargo, acciden-



**Figura 5.** Peyote (*Lophophora williamsii*) en Zacatecas. Se trata de un ejemplo de planta muy buscada por los coleccionistas, así como por sus propiedades alucinógenas. En realidad sólo una subespecie está en riesgo de extinción. Únicamente los huicholes y los colectores científicos autorizados pueden coleccionar y transportar estas plantas de manera legal.

talmente se escaparon en Brasil y colonizaron una gran extensión. Estos insectos son hostiles, pueden conservar sus aguijones para producir varios piquetes y están desplazando a las abejas nativas.

Otro ejemplo ocurrió por la introducción de un tipo de nopal en las zonas semiáridas y templadas de Australia, Sudáfrica y otros lugares en donde ningún animal lo puede consumir. Este nopal se extendió sobre todo en Australia, y en pocas décadas se tenían centenares de miles de hectáreas de zonas inaccesibles. Como “solución” se buscó un depredador en Argentina: una palomilla del género *Cactoblastis*, que se llevó a las nopaleras australianas y tuvo un éxito total. Luego en Sudáfrica tuvo un éxito parcial. Pero a mediados del siglo XX se llevó a las islas del Caribe para controlar las poblaciones de nopales nativos! La palomilla se desplazó con el viento y los huracanes, de isla en isla, hasta llegar a Florida, donde devastó las nopaleras nativas; después se propagó hacia el norte y oeste, hasta Texas. Se teme que en el futuro cause problemas en algunas poblaciones nativas y en cultivos del territorio mexicano (Zimmermann y cols., 2000).

Asimismo en Australia, durante la colonización inicial por los aborígenes, se introdujeron roedores y perros Dingo que mermaron a las especies nativas de mamíferos marsupiales, sobre todo en la región oriental, que es la más húmeda. Más tarde los colonizadores europeos trajeron conejos, que cundieron y amenazaron a las plantas nativas; y posteriormente –para “controlar” a los conejos– se introdujeron gatos domésticos, los cuales se hicieron ferales; es decir, “silvestres introducidos” (Wittenberg y Cock, 2004).

### ■ El crecimiento poblacional, la revolución verde y el efecto de los transgénicos

■ La población humana creció de manera exponencial después de los años 50 del siglo XX. Para darnos una idea, la Ciudad de México pasó de menos de 5 000 000 de habitantes a 15 000 000 en un par de décadas, y actualmente se estiman 27 000 000 en su área conurbada. Nueva York, Chicago, Los Ángeles, Pekín, Shanghái, Tokio-Yokohama, Londres, París y otras ciudades del mundo también están creciendo.

La sobrepoblación y la migración rural-urbana generan un gigantesco aumento en la demanda de alimentos, por lo que surgió una “revolución verde”. Durante ésta se extendió el uso –antes limitado– de la maquinaria agrícola, se hicieron monocultivos en grandes extensiones y aumentó el empleo de productos químicos muy diversos para el control de plagas y la fertilización; además de que incrementaron las emisiones de carbono.

En cuanto a los cultivos transgénicos, su objetivo inmediato es o fue nutrir a una población creciente y reducir los costos de los monocultivos masivos; en particular, al “controlar” las enfermedades y depredadores (insectos) que afectan a la producción. Aunque en un principio se tuvo éxito contra las poblaciones de insectos nocivos, se ha visto que éstos se adaptan a los químicos producidos por las plantas transgénicas; además, algunas de las sustancias que sintetizan las plantas modificadas resultaron ser nocivas para el ser humano. El principal impacto quizá no ha sido directamente a la salud humana, pero sí a la salud de componentes muy importantes de la fauna en diversos ecosistemas. El ejemplo más claro y conocido es el efecto tóxico que ha tenido el polen del maíz genéticamente modificado sobre las mariposas Monarca, que tristemente ven reducida su población año tras año. Más relevante aún es el efecto tóxico de estos pólenes sobre las poblaciones de abejas. Adicionalmente, las poblaciones de murciélagos han decaído de manera drástica en Estados Unidos y el norte de México debido a que se intoxican al comerse los insectos resistentes a las nuevas sustancias químicas y adquieren enfermedades fungosas. Como parte de la cadena trófica esencial, la agricultura se verá mermada inevitablemente.

### ■ El aspecto social y el aislamiento moderno

■ La población humana ha cambiado radicalmente desde la Revolución Industrial. Su crecimiento se hizo exponencial, aumentó la demanda y se ejerció mayor presión sobre los recursos bióticos y abióticos, además de tener una migración masiva del campo a las ciudades. El resultado de todo esto incluye un creciente aislamiento de las sociedades modernas



**Figura 6.** Nahuel Huapi, Argentina. Parque Nacional colindante con Chile, en la región de los lagos Andinos. Los alerces se usaron durante cientos de años en la construcción; apenas hace pocas décadas se tomó conciencia del peligro en que se encontraban estos gigantes parecidos a las secuías norteamericanas. Actualmente se encuentran protegidos. Su crecimiento es tan lento que suelen alcanzar su altura máxima después de 1 000 años y pueden vivir más de 3 000.

respecto al mundo natural. Mucha gente carece de una noción básica sobre la importancia de los ecosistemas, la procedencia de los alimentos y otros servicios, así como la necesidad de conservar la biodiversidad del planeta. Es importante crear conciencia en torno a este tema para garantizar nuestra supervivencia.

### ■ ■ ■ Conclusiones

■ En este tiempo de transición tecnológica debemos hacer conciencia de las grandes necesidades de la población humana que son suplidas en su mayoría por la naturaleza, de forma tanto directa como indirecta. Asimismo, hay que intentar reducir paulatinamente nuestro impacto sobre los ecosistemas y la biodiversidad. Es importante crear un número mayor de ANP, Regiones Terrestres Prioritarias y Corredores Biológicos que permitan mantener los procesos naturales, los ciclos biogeoquímicos y la continuación del fenómeno evolutivo.

#### David Brailovsky Signoret

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.  
cactovsky@gmail.com

#### Lecturas recomendadas

- Conabio (s/f), *Biodiversidad mexicana*. Disponible en: <<http://www.biodiversidad.gob.mx/>>. Consultado el 28 de agosto de 2018.
- CONANP (2000), *Áreas Naturales Protegidas de México*, México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 107 pp.
- Diamond, J. (2005), *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*, Londres, Penguin Books, 608 pp.
- Dirzo, R. (1990), “La biodiversidad como crisis ecológica actual ¿qué sabemos?”, *Ciencias*, 4:48-55.
- Heywood, V. H. y Watson, R. T. (eds.) (1995), *Global Biodiversity Assessment*, Nueva York, Cambridge University Press, 1140 pp.
- IUCN (2018), *The Red List of Threatened Species*, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Disponible en: <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Consultado el 28 de agosto de 2018.
- Primack, R. (2006), *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas*, México, Fondo de Cultura Económica, 797 pp.
- UNEP (2004, 2006, 2018), *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. Disponible en: <[www.unenvironment.org](http://www.unenvironment.org)>. Consultado el 30 de agosto de 2018.
- Wittenberg R. y Cock, M. J. W. (2004), *Especies exóticas invasoras: una guía sobre las mejores prácticas de prevención y gestión*, Wallingford (Oxon), CAB Internacional/Programa Mundial sobre Especies Invasoras-IUCN, 240 pp.
- Zimmermann, H. G. et al. (2000), “*Cactoblastis cactorum*, una nueva plaga de muy alto riesgo para las opuntias de México”, *Biodiversitas*, 33:1-14.



# Noticias de la Academia Mexicana de Ciencias



## Ceremonia de Inicio del LIX Año Académico de la AMC

A un cuando en los últimos años se han impulsado las actividades científicas, tecnológicas y de innovación, últimamente hubo reducciones importantes al presupuesto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por lo que desde la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) se apoyará cualquier iniciativa que reclame el incremento a dichos recursos, dijo José Luis Morán López, presidente de la AMC, durante la ceremonia de Inicio del LIX Año Académico de la AMC.

“Ante la nueva administración pública, reiteramos el compromiso de todos los miembros de la Academia para coadyuvar de manera conjunta en la solución de problemas que aquejan a nuestra sociedad”, señaló Morán López, y destacó que los integrantes de la AMC son actores comprometidos con la ciencia mexicana y en busca de alcanzar mejores condiciones de vida para la sociedad, así como lograr la sustentabilidad de nuestro planeta.

Ante integrantes de la comunidad científica y académica nacional, invitados, amigos y familiares de los investigadores premiados y nuevos miembros de la AMC, José Luis Morán hizo un amplio recuento de las actividades que la Academia realiza a nivel nacional e internacional a través de sus reconocidos programas.

Por su parte, Enrique Cabrero Mendoza, director general del Conacyt, quien presidió la ceremonia, presentó un balance de los avances en política de ciencia, tecnología e innovación (CTI). Reconoció que en el actual sexenio se hizo una inversión histórica, pero los

ajustes presupuestales de 2017 y 2018 detuvieron el crecimiento que se pensaba tener en el Gasto en Investigación y Desarrollo Experimental (GIDE, un indicador internacional que permite comparar la inversión entre países).

En este contexto, Cabrero Mendoza advirtió que si la inversión del gobierno no se duplica, la de la iniciativa privada no se triplica, y si los gobiernos estatales no hacen un mayor esfuerzo, “no será posible llegar a la meta en inversión del 1% del producto interno bruto en ningún sexenio, ya que, sin un acuerdo de largo aliento, la ciencia sufre los ajustes presupuestales que se presentan cada seis años”.

Por tal razón, el titular del Conacyt llamó a hacer un esfuerzo para que se mantenga la inversión en el media-



El director general del Conacyt, Enrique Cabrero, y el presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), José Luis Morán, presidieron la ceremonia de Inicio del LIX Año Académico de la AMC. Se dio la bienvenida a los miembros de nuevo ingreso, y se entregaron reconocimientos a los ganadores (de pie) de los Premios Wiezmann 2017, Premios de la Academia a las mejores tesis de doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades 2017, así como de las Becas para Mujeres en las Humanidades y Ciencias Sociales 2018. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.



José Luis Morán López, presidente de la Academia Mexicana de Ciencias. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

no y largo plazo. “Lo que nos falta es ponernos de acuerdo en una visión de largo plazo. Estoy seguro de que el nuevo gobierno tiene sus énfasis en CTI, pero seis años es muy poco tiempo; el punto es embarcarnos en un proyecto de 20 o 30 años, de ahí que hablaremos con las nuevas voces que llegarán al Conacyt y otras instancias del gobierno federal para insistir en esta temática.”

Para la ceremonia de Inicio del LIX Año Académico de la AMC conformaron el presídium: Susana Lizano Soberón, vicepresidenta de la AMC; José Franco, coordinador general del Foro Consultivo Científico y Tecnológico; William Lee, coordinador de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México; y Martha Flisser, presidenta de la Asociación Mexicana de Amigos del Instituto Weizmann de Ciencias.

También estuvieron en la mesa de honor: José Mustre de León, director general del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional; Armando Mansilla Olivares, presidente de la Academia Nacional de Medicina de México; Rogelio Garza Rivera, rector de la Universidad Autónoma de Nuevo León; Gustavo Vega, secretario general de El Colegio de México; y José Francisco Albarrán, presidente de la Academia de Ingeniería de México.

En el evento, que tuvo lugar en el auditorio Galileo Galilei, en la sede de la AMC, se dio la bienvenida a 77 nuevos miembros nacionales y tres miembros correspondientes; además, se hizo entrega de los Premios Weizmann 2017, los Premios de la Academia a las mejores tesis de doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades



Susana Lizano, vicepresidenta de la Academia Mexicana de Ciencias. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

2017, así como las Becas para las Mujeres en las Humanidades y las Ciencias Sociales 2018.

La vicepresidenta de la AMC fue la responsable de anunciar los nombres de los galardonados. En esta ocasión, la Comisión de Premios evaluó en total 210 propuestas para los siguientes premios y distinciones:

### **Premios Weizmann 2017**

#### ■ Ciencias exactas

José Juan González Avilés,  
Instituto de Física y Matemáticas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

#### ■ Ciencias naturales

Gerardo del Toro de León,  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN, Irapuato/Langebio, Irapuato



Este año, un total de 77 nuevos miembros nacionales y tres correspondientes ingresaron a la Academia Mexicana de Ciencias (AMC). En la imagen, en primera fila: el Consejo Directivo de la AMC: Alipio Calles, secretario; José Luis Morán, presidente; Susana Lizano, vicepresidenta; y Carlos Coello, secretario. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

■ **Ingeniería y tecnología**

José Javier Reyes Lagos,  
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

*Premios de la Academia a las mejores tesis de doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades 2017*

■ **Ciencias sociales**

- César Augusto Ricardi Morgavi,  
Universidad de Guadalajara
- Velvet Romero García,  
El Colegio de México

■ **Humanidades**

- María Graciela León Matamoros,  
El Colegio de México
- Óscar Javier González Molina,  
El Colegio de México

*Becas para Mujeres en las Humanidades y las Ciencias Sociales 2018*

■ **Humanidades**

Janett Vallejo Román,  
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS), Unidad Golfo

■ **Ciencias sociales**

Letizia Odeth Silva Ontiveros,  
Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México ∞

**Recibe el presidente electo agenda estratégica en ciencia, tecnología e innovación para una política de Estado 2018-2024**

El presidente electo, Andrés Manuel López Obrador, recibió del rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, Enrique Graue Wiechers, el documento *Hacia la consolidación y desarrollo de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación*, una agenda con visión unificada y de largo plazo para la consolidación de políticas públicas en el sector.

En la elaboración del texto participaron entidades de investigación científica, innovación, desarrollo tec-



El rector de la UNAM, Enrique Graue, entregó al presidente electo, Andrés Manuel López Obrador, el documento *Hacia la consolidación y desarrollo de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación*, en un acto celebrado en el Palacio de Minería. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

nológico, ciencias sociales, humanidades y educación superior; así como cámaras empresariales, sectores de gobierno, centros públicos de investigación, academias y fundaciones. La principal propuesta es hacer del conocimiento, la tecnología y la innovación —incluida la innovación social— una palanca fundamental para el crecimiento económico sustentable de México, que favorezca el desarrollo humano, posibilite una mayor justicia social, consolide la democracia y la paz, y fortalezca la soberanía nacional. El documento es producto de un extenso trabajo de estudio y consenso; se inició en noviembre de 2017 y contiene alrededor de 150 planteamientos distribuidos en 12 capítulos.

La ceremonia para la entrega del texto se realizó el 22 de agosto en el Palacio de Minería, donde el presidente electo escuchó a diez oradores representantes de instituciones de educación superior, centros de investigación y asociaciones civiles, quienes reseñaron cada uno de los capítulos del documento. Entre ellos estuvo el doctor José Luis Morán, presidente de la Academia Mexicana de Ciencias. El texto está disponible en <http://www.dgcs.unam.mx/CTI-180822.pdf>. ∞

**68ª Reunión Lindau de Premios Nobel**

La evidencia científica como respuesta a las noticias falsas fue la idea central de la 68.ª Reunión Lindau de Premios Nobel, celebrada del 24 al 29 de junio en Alemania. Participaron 39 científicos laureados con el



El ganador del Premio Nobel de Fisiología o Medicina 1998, el estadounidense Louis Ignarro, conviviendo con jóvenes científicos frente a la entrada del puerto de Lindau, en Alemania, durante la 68ª Reunión Lindau de Premios Nobel, a la que acuden este año cuatro jóvenes investigadores mexicanos. Foto: tomada de [www.mediatheque.lindau-nobel.org](http://www.mediatheque.lindau-nobel.org).

Premio Nobel y 600 jóvenes investigadores de 84 países, quienes convivieron durante una semana en la parte antigua de Lindau, ciudad del estado de Baviera, asentada en el Lago de Constanza. La reunión de este año estuvo dedicada a las áreas de fisiología y medicina, con especial énfasis en el papel de la ciencia en la “era de la posverdad”, la investigación sobre el reloj biológico, la ingeniería genética, así como las buenas prácticas en las publicaciones científicas.

La anfitriona del evento anual, Bettina Bernadotte, presidenta del Consejo de Reuniones Lindau de Premios Nobel, destacó en sus palabras de bienvenida la asistencia del presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), José Luis Morán, y recordó que México fue en 2017 el país anfitrión de las actividades programadas para el International Day, que este año correspondió a China organizar.

“Una vez más, este verano damos la bienvenida a la próxima generación de destacados investigadores. Me parece extraordinario que reunamos a más de 80 naciones en Lindau y que al hacerlo no sólo podamos disfrutar de un intercambio intensivo entre generaciones, sino también de un cruce entre fronteras”, dijo la condesa Bernadotte, quien subrayó que esta edición era “particularmente gratificante porque 50% de los jóvenes científicos que participan son mujeres”.

El discurso de apertura estuvo a cargo de la nueva ministra de Educación e Investigación de Alemania, Anja Karliczek, quien en representación del gobierno

federal pidió a los científicos intensificar y refinar sus esfuerzos en una era de prácticas de posverdad, “especialmente en estos tiempos de respuestas simplistas e informes falsos, donde hace falta escuchar claramente la voz de la ciencia”.

En la ceremonia inaugural, además del presidente de la AMC, también estuvieron presentes los titulares de las academias de Sudáfrica, Noruega y la Academia Nacional de Ciencias de Alemania (Leopoldina).

En el marco de esta edición, en la jornada del 27 de junio, la AMC y la Fundación Alemana Lindau, a través de sus representantes, José Luis Morán y Bettina Bernadotte, firmaron la renovación del convenio de colaboración con vigencia de tres años, el cual permitirá continuar con la presencia de jóvenes científicos mexicanos en las reuniones. Este año acudieron cuatro mexicanos, estudiantes de doctorado o posdoctorado en las áreas de fisiología o medicina: Silvana Bazúa Valenti, Mauricio Ostrosky Frid y Enrique Soto Pérez de Celis, los tres de la Universidad Nacional Autónoma de México, y Noé Rodríguez Rodríguez, de la Universidad Complutense de Madrid. ∞

### Se reúne el Comité Ejecutivo de IANAS para discutir el futuro de sus programas

El Comité Ejecutivo de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, por sus siglas en inglés) se reunió los días 28 y 29 de mayo en la sede de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) para discutir aspectos con miras a fortalecer la ciencia y la tecnología para



Integrantes del Comité Ejecutivo de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, por sus siglas en inglés) se reunieron en la sede de la Academia Mexicana de Ciencias para una reunión de trabajo los días 28 y 29 de mayo de 2018. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.



El presidente de la AMC, José Luis Morán (izquierda) y la vicepresidenta de la AMC, Susana Lizano Soberón (derecha), dieron la bienvenida al Comité Ejecutivo de IANAS. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

el desarrollo y la prosperidad de los países del continente. Los integrantes del Comité trabajaron en la revisión de los logros y los retos que tienen sus programas, como son: Enseñanza de la ciencia, Mujeres en la ciencia, Energía, Agua, y Seguridad alimentaria y nutrición.

Como miembro del Comité Ejecutivo y en su carácter de anfitrión dio la bienvenida el presidente de la AMC, José Luis Morán, quien destacó la importancia de dar seguimiento y continuidad a los programas de IANAS, porque son necesarios en todas las naciones del hemisferio. “La vida de las academias en cada país es muy diferente y también lo es el reconocimiento que les otorgan los gobiernos. En algunos casos las academias son un órgano de consulta y son tomadas en cuenta, pero en otros, la situación para ellas es otra”, comentó.

En este contexto, Morán recordó que en algunos países de nuestro continente los grupos de científicos se han ido diseminando y los investigadores se han ido a otras partes del mundo para seguir trabajando; pero “esperamos que estas cosas cambien, tomen nuevamente su rumbo y mejoren con el tiempo”. En casos como éste se puede ver la importancia que tiene la Red, pues sirve para intercambiar experiencias, además de “mantenernos solidarios con los países que tienen deficiencias en su desarrollo, y para tratar de que el continente se desarrolle de una manera más uniforme”.

En los dos días de trabajo también participó Juan Asenjo, secretario de Relaciones Exteriores de la Academia de Ciencias de Chile y *co-chair* de IANAS, quien dijo que la reunión era de suma importancia porque la ciencia tiene que ser hoy en día una parte central en el desarrollo de los países, ya que la única forma para

dejar de ser países en vías de desarrollo es apoyando a la ciencia, la tecnología y la innovación. Asimismo, estuvieron presentes Jeremy McNail, secretario de Relaciones Exteriores de la Real Sociedad de Canadá y *co-chair* de IANAS, y Susana Lizano Soberón, vicepresidenta de la AMC. ∞

### Academias de ciencias, esenciales para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Organización de las Naciones Unidas delineó 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con el año 2030 como meta. Fueron diseñados con el anhelo de que en el futuro se garantice el bienestar de las personas y el planeta. Desde el 1 de enero de 2016, fecha en la que fueron aprobados por los estados miembro, ha sido tarea de diversas organizaciones su comprensión y adopción en todos los países del mundo, mediante los mecanismos legales e institucionales que permitan su implementación a nivel local.

Con el fin de alcanzar dichos objetivos en el continente americano, se llevó a cabo los días 29 y 30 de mayo, en la sede de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), el taller regional “Implementando los objetivos de desarrollo sostenible. ¿Cómo pueden ayudar las academias?”, coordinado por la Red Global de Academias de Ciencias (IAP, por sus siglas en inglés) y la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, por sus siglas en inglés).

En el taller participaron representantes de las academias de ciencias de 17 países del continente ameri-



La Academia Mexicana de Ciencias fue anfitriona del taller regional “Implementando los objetivos de desarrollo sostenible, ¿cómo pueden ayudar las academias?”, que organizaron de manera conjunta la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, por sus siglas en inglés), y la Red Global de Academias de Ciencias (IAP, por sus siglas en inglés), para trabajar sobre los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

cano: Argentina, Brasil, Canadá, Caribe (de la República de Trinidad y Tobago), Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, República Dominicana y Venezuela.

Antes del arranque de la actividad, Susana Lizano Soberón, vicepresidenta de la AMC, señaló que estaba convencida de que el taller representaba una oportunidad de brindar ideas y mecanismos para implementar políticas nacionales en la promoción de los ODS en el continente americano. “Estas metas son una guía para tomar decisiones correctas y mejorar la vida, de manera sustentable, para las generaciones futuras”, agregó.

En tanto, Tracey Elliott, directora del proyecto ODS de la IAP, sostuvo que las academias de ciencias, además de poder ayudar a guiar a los tomadores de decisiones para diseñar políticas públicas, poseen un gran potencial aún no explotado, ya que sus fortalezas son su independencia, autoridad científica, credibilidad basada en méritos, organización nacional, regional y global, cooperación multidisciplinaria, así como una gran cantidad de reportes basados en evidencia en asuntos de política y ciencia.

Los 17 ODS son: 1) Fin de la pobreza; 2) Hambre cero; 3) Salud y bienestar; 4) Educación de calidad; 5) Igualdad de género; 6) Agua limpia y saneamiento; 7) Energía asequible y no contaminante; 8) Trabajo decente y crecimiento económico; 9) Industria, innovación e infraestructura; 10) Reducción de las desigualdades; 11) Ciudades y comunidades sostenibles; 12) Producción y consumo responsables; 13) Acción por el clima; 14) Vida submarina; 15) Vida de ecosistemas terrestres; 16) Paz, justicia e instituciones sólidas; 17) Alianzas para lograr los objetivos. ∞

### El Centro de Investigación sobre el Envejecimiento, iniciativa del fallecido fisiólogo y neurobiólogo René Drucker Colín, ya es una realidad

El nuevo Centro de Investigación en Envejecimiento, el cual fue presentado el pasado 27 de agosto, se ubicará en la Ciudad de México, en la Unidad Coapa del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), con el objetivo de promover la interacción

con los institutos nacionales de investigación en salud, especialmente con el Instituto Nacional de Geriátrica y la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Los tres grandes temas que se investigarán en el lugar serán: biología del envejecimiento, ciencia traslacional, y envejecimiento y sociedad. La primera línea de investigación permitirá entender los procesos a nivel celular y molecular; con la segunda se busca llevar los beneficios de la ciencia directamente a las personas; con la tercera línea se pretende incorporar diversos temas de investigación para atender aspectos estadísticos, matemáticos, demográficos, etcétera.

En la presentación del proyecto, que se espera entre en operaciones en dos años más, estuvieron presentes los titulares del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Enrique Cabrero Mendoza; del Cinvestav, José Mustre de León; y de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, David García Junco. La ceremonia fue encabezada por el Jefe de Gobierno de la Ciudad de México, José Ramón Amieva Gálvez, quien también anunció la iniciativa para la creación de la beca René Drucker para el estudio de la vejez.

México, al igual que otros países, experimentó a lo largo del siglo XX una transición demográfica, y en las próximas décadas este sector de la población aumentará su presencia en términos relativos y absolutos. A ese proceso poblacional la Ciudad de México no escapará, pues la esperanza de vida en la capital del país es una de las mayores. Sumado a que se presenta la tasa



En la presentación del Centro de Investigación sobre el Envejecimiento participaron: Claudia González, Ana Luisa Gamble, Laura Elizabeth Chamlati, Enrique Cabrero, José Ramón Amieva Gálvez, David García Junco, José Mustre de León, Luis Miguel Gutiérrez y María de Lourdes Ávila. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

de natalidad más baja del país, este hecho coloca a la entidad por debajo del reemplazo intergeneracional. A dicho escenario quería responder el exsecretario de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México y expresidente de la Academia Mexicana de Ciencias, René Drucker Colín –fallecido el 17 de septiembre de 2017–, promotor de esta iniciativa. ∞

### Nueva temporada de la serie televisiva *Ciencia en todos lados*

Ante una escasa oferta de contenidos de divulgación de la ciencia en televisión abierta, y menos aun de temas que aborden los estudios que se realizan en México por investigadores adscritos a instituciones académicas y de investigación nacionales, se presentó ante los medios el pasado 7 de junio la 5ª temporada de la serie *Ciencia en todos lados*, cuya transmisión está a cargo del Sistema Público de Radiodifusión del Estado Mexicano (SPR).

Durante la presentación, José Luis Morán López, presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), consideró que la “serie es necesaria y fundamental para contar con una sociedad más informada y más cercana a los temas de investigación que desarrollan los científicos en nuestro país”.

Gracias a un convenio de colaboración signado en 2015 entre la AMC y el SPR se ha podido promover, im-

pulsar y divulgar la educación, la cultura universal, así como la investigación científica, tecnológica y humanística. En el marco de ese convenio se presentaron las 3.ª y 4.ª temporadas de *Ciencia en todos lados*, en las que distinguidos científicos miembros de la AMC han colaborado, recordó Morán López.

Por su parte, Armando Carrillo Lavat, presidente del SPR, dijo ser de las personas que están convencidas de que la divulgación de la ciencia no es algo trivial, “sino que es una actividad fundamental que los medios públicos de comunicación deben hacer para tener un mejor país”.

En el acto, realizado en el auditorio Galileo Galilei de la AMC, además se celebró la renovación del convenio entre la AMC y el SPR para los próximos tres años, el cual permitirá a ambas instituciones continuar elaborando contenidos de divulgación de la ciencia en la televisión pública. Margarita Flores, productora de la serie y directora general de Inmedia, indicó que la nueva producción es de mayor calidad y en ella se podrán apreciar significativas mejoras en los recursos de producción.

La 5.ª temporada consta de 13 capítulos, en los que participaron alrededor de 60 investigadores, la mayor parte de ellos miembros de la AMC. Los temas que abordan los capítulos son: 1) Chicxulub, el meteorito que cambió el mundo; 2) Edición de genes; 3) Ondas gravitacionales; 4) Migración: un fenómeno global; 5) Ciencia y cine; 6) Buque oceanográfico *Justo Sierra*; 7) Contaminación lumínica; 8) El murciélago y el agave; 9) Depresión y salud mental; 10) Laboratorio natural: Cuatrociénegas; 11) La cultura del envejecimiento; 12) El escorpión; 13) Tlalollin, cuando la Tierra se mueve (mesa de debate).

A diferencia de otras temporadas, esta vez se invitó a cinco directores y realizadores: Fernando González Sotgiu (capítulo 1); Rodolfo Juárez (2, 6, 8, 10 y 12); Felipe Bracho (3, 7); Luis Mercado (4); Marusia Estrada (5, 9 y 11) y José Luis Aguilera (13).

Los expertos que participaron en las grabaciones de los programas pertenecen a diversas instituciones académicas y de investigación: Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Zacatecas, Colegio de la Frontera Norte, Centro de Estudios California-México, Universidad de Guadalajara, Instituto Nacional de Medicina Genómica, Instituto Nacional



Armando Carrillo Lavat y José Luis Morán López, presidentes respectivamente del Sistema Público de Radiodifusión del Estado Mexicano y de la Academia Mexicana de Ciencias, firmaron nuevamente un convenio de colaboración para seguir trabajando de manera conjunta en los próximos tres años. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

de Geriátría, Sismológico Nacional, Durham University, Louisiana State University y otras organizaciones, como el Festival Internacional de Cine de Guadalajara. ∞

### Firman convenio de colaboración tripartita AMC-IBD-FCCyT

La Academia Mexicana de Ciencias (AMC), el Instituto Belisario Domínguez (IBD) del Senado de la República y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) firmaron, a través de sus respectivos titulares, un acuerdo marco de colaboración para realizar labores conjuntas que puedan o resulten complementarias para el mejor desempeño de sus respectivas funciones y atribuciones. El convenio se formalizó el 15 de agosto del presente año en el auditorio Octavio Paz del Senado, con la presencia de los doctores José Luis Morán, presidente de la AMC; José Franco, coordinador general del FCCyT; y en representación del senador Manuel Bartlett Díaz –en esa fecha presidente del Comité Directivo del IBD–, el secretario técnico Onel Ortiz Frago.

Con esta colaboración se busca desarrollar proyectos conjuntos sobre resultados de investigación científica, tecnológica o educativa en aquellos temas de interés mutuo; organizar seminarios, encuentros y otros análogos en materia académica y cultural; así como promover el inter-

cambio y la difusión cultural, a través de la organización de eventos en las diferentes expresiones artísticas. ∞

### El Verano de la Investigación Científica entusiasma a los universitarios del país

El Verano de la Investigación Científica (VIC) ofrece a los universitarios una oportunidad de visitar otra institución, trabajar en sus laboratorios, conocer cosas nuevas o vivir otras experiencias. Además, lo que se espera a través de programas como éste es tener mejores ciudadanos, que sean responsables y tengan interés por resolver los problemas sociales, indicó José Luis Morán, presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC).

Cerca de 300 becarios presentes en la sede de la AMC compartieron el pasado 25 de julio una jornada de convivencia a la mitad de la estancia de siete semanas que realizaron los estudiantes en diferentes institutos y centros de investigación en la capital del país. José Luis Morán señaló que la investigación científica da otra perspectiva de los problemas y de cómo resolverlos, así como de analizar, saber cuáles son los avances que se tienen sobre el tema y aportar esos conocimientos a la solución.

Víctor Pérez-Abreu, director del programa, informó que para el XXVIII Verano de la Investigación Científica se recibieron 1 989 solicitudes, de las cuales 1 349 fueron



Los jóvenes que participan en el XXVIII Verano de la Investigación Científica se reunieron hoy en la sede de la Academia Mexicana de Ciencias para compartir sus experiencias sobre esta actividad de siete semanas de duración. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

aceptadas; de esta cifra, 836 fueron beneficiarios de una de las becas que concede la AMC, las cuales son posibles gracias al apoyo de la Secretaría de Educación Pública, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, El Colegio de México, el Instituto Científico Pfizer y la Universidad Autónoma Metropolitana. El resto de los becarios realizaron sus estancias con recursos de sus instituciones de educación superior, en su mayoría, y otros con recursos propios.

Agregó que son 938 los investigadores anfitriones y 1 892 investigadores los que evaluaron las solicitudes. Los estados con mayor participación de estudiantes en el vic 2018 fueron Sinaloa, Tamaulipas, Ciudad de México, Jalisco y Veracruz.

Ante el numeroso grupo de estudiantes reunido en el auditorio Galileo Galilei, Pérez-Abreu habló de las perspectivas del programa, y sostuvo que es necesario seguir enfocándose en la detección de talentos jóvenes, que el vic mantenga sus altos estándares y valores éticos, y sea un ejemplo para otros programas de verano. ∞

### Equipo mexicano regresa de Olimpiada Internacional de Química con tres bronce

Los cuatro mexicanos que representaron al país en la 50.ª Olimpiada Internacional de Química (IChO, por sus siglas en inglés) celebrada en la República Checa y en Eslovaquia, regresaron con tres preseas de bron-



Alejandro Valderrama, de Michoacán; Alexa García, de Sonora; Neyci Gutiérrez, de Ciudad de México; y Alejandro Munguía Aldapa, de Sonora, representaron a México en la 50 edición de la Olimpiada Internacional de Química. Este certamen a nivel nacional lo coordina y organiza la Academia Mexicana de Ciencias. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.

ce tras concluir su participación en la cita europea. Del 19 al 29 de julio, los estudiantes compitieron en el certamen de química contra jóvenes procedentes de 70 países.

Los estudiantes que se hicieron acreedores a las medallas de bronce fueron: Alejandro Munguía Aldapa (18 años, de Sonora), Neyci Gutiérrez Valencia (18 años, de la Ciudad de México) y Alejandro Valderrama Celestino (17 años, de Michoacán). La cuarta integrante del equipo fue Alexa Estefanía García Rendón (18 años, de Sonora). A su llegada, los jóvenes coincidieron en que la experiencia no sólo fue inolvidable sino también un factor importante que ayudó a decidir el camino que quieren seguir en su formación profesional. ∞

### Dos bronce y mención honorífica para México en Olimpiada Internacional de Biología

La delegación que representó a México en la 29.ª Olimpiada Internacional de Biología (IBO, por sus siglas en inglés), en Teherán, República Islámica de Irán, del 15 al 22 de julio, obtuvo dos medallas de bronce y una mención honorífica.

Los ganadores de las medallas de bronce fueron los estudiantes de nivel bachillerato: José Santiago Jara Sarracino (Sonora) y Edwin Alejandro Chávez Esquivel (Estado de México); en tanto que Gerardo Cendejas Mendoza (Michoacán) regresó con una mención honorífica. El equipo lo completó Rodrigo Arieih Díaz de León Martínez (Durango). ∞



El equipo mexicano acompañado por la doctora María Cristina Revilla Monsalve, directora de la Olimpiada Nacional de Biología; y el maestro Miguel Ángel Palomino, líder y co-líder de la delegación, respectivamente. Foto: Elizabeth Ruiz Jaimes/AMC.