

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Septiembre 2013 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

**MATEMÁTICAS**  
El legado  
de Évariste  
Galois

**PERCEPCIÓN**  
Desarrollo  
de la visión

**CAMBIO CLIMÁTICO**  
Explotación  
de arenas  
petrolíferas



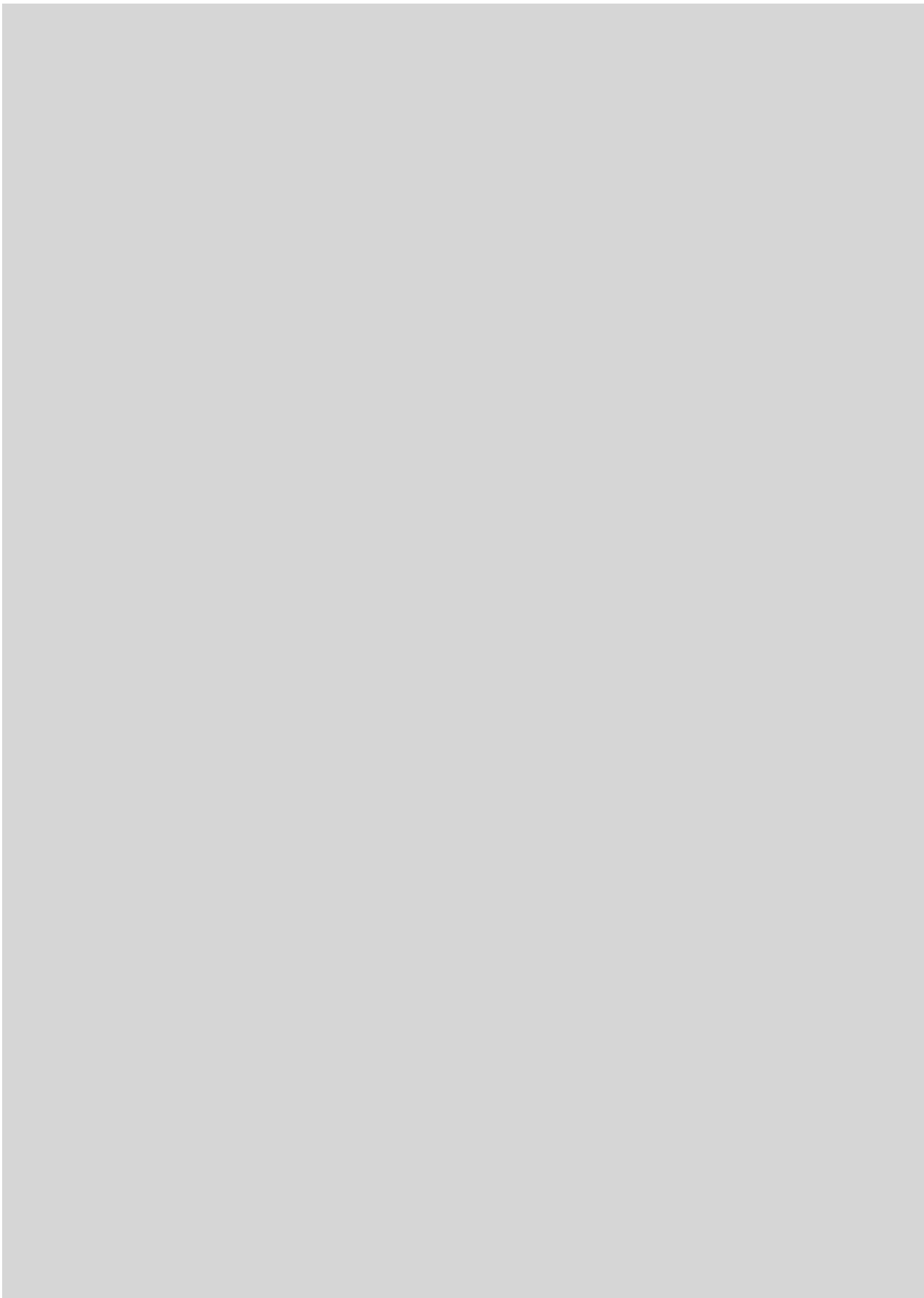
# El amanecer de los exoplanetas

Los astrofísicos estudian  
sus atmósferas en busca  
de signos de vida extraterrestre

INFORME ESPECIAL  
La educación en la  
era digital



6,50 EUROS



## ARTÍCULOS

### ASTRONOMÍA

#### 16 **El amanecer de los exoplanetas**

Nuestra galaxia rebosa de mundos. Los científicos se han lanzado a estudiar sus atmósferas en busca de signos de vida extraterrestre. *Por Michael D. Lemonick*

### INFORME ESPECIAL LA EDUCACIÓN EN LA ERA DIGITAL

#### 24 **Las TIC van a la escuela**

*La redacción*

#### 29 **Cursos en línea masivos y abiertos**

*Por David Jeffrey Bartholet*

#### 38 **Luces y sombras de los MOOC**

*Por Albert Sangrà Morer*

#### 40 **Enseñanza adaptativa**

*Por Seth Fletcher*

#### 47 **Enseñar y aprender en entornos digitales**

*Por José Luis Rodríguez Illera*

### MATEMÁTICAS

#### 58 **El legado de Évariste Galois**

Las investigaciones del joven matemático francés articularon varios campos de la matemática moderna; entre ellos, la teoría de cuerpos finitos. *Por Antoine Chambert-Loir*

### MEDICINA

#### 66 **Ver por primera vez**

La cirugía dota de visión a niños ciegos de la India y revela los mecanismos cerebrales de este sentido. *Por Pawan Sinha*

### MEDIOAMBIENTE

#### 74 **Calentamiento viscoso**

El futuro de las minas de arenas bituminosas de Alberta —y el del clima— podría depender de la construcción de un oleoducto. *Por David Biello*

### ETOLOGÍA

#### 80 **El duelo en los animales**

Cada vez más datos obtenidos en especies tan diversas como gatos o delfines apuntan a que el pesar por la muerte de un ser cercano no es una singularidad de los humanos. *Por Barbara J. King*



6



52



88

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

## SECCIONES

### 3 Cartas de los lectores

### 4 Apuntes

Plagas potencialmente peligrosas. Falsos fósiles.  
Vigilar la cultura desde el cielo. Circuitos blandos.  
Boyas que generan energía. Exoplanetas más cerca  
de casa.

### 7 Agenda

### 8 Panorama

La enseñanza de la ciencia de los nóbel.

*Por Bernardo Herradón*

El futuro del ciclo del nitrógeno. *Por Mark A. Sutton,  
y Albert Bleeker*

Diez cuestiones clave sobre el hielo y la nieve. *Por Thorsten  
Bartels-Rausch*

El interferómetro térmico. *Por María José Martínez*

### 52 De cerca

La visión de los insectos. *Por Fernando Jordán Montés*

### 54 Filosofía de la ciencia

Libertad y belleza en *La théorie physique*.

*Por Alfredo Marcos*

### 56 Foro científico

Las buenas preguntas. *Por Dennis M. Bartels*

### 57 Ciencia y gastronomía

Texturas blandas. *Por Pere Castells*

### 86 Curiosidades de la física

Clac vegetal y gancho de gamba.

*Por Jean-Michel Courty y Édouard Kierlik*

### 88 Juegos matemáticos

Preguntas y respuestas.

*Por Gabriel Uzquiano*

### 91 Libros

Objetos próximos a la Tierra. *Por Anna Artigas*

Ciencia hispanorromana. *Por Luis Alonso*

Trigonometría esférica. *Por Luis Alonso*

### 96 Hace...

50, 100 y 150 años.

## EN PORTADA

Durante los últimos años la investigación sobre exoplanetas ha avanzado mucho más rápido de lo que se esperaba. Los astrónomos ya conocen cientos de mundos que orbitan en torno a estrellas lejanas; un número que no cesa de crecer. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas observacionales, los expertos intentan ahora analizar la composición química de sus atmósferas en busca de indicios de vida extraterrestre. Imagen de Don Foley.





Marzo y abril 2013

## DILEMA CUÁNTICO

En «Paradojas colectivas y lógica cuántica» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2013], George Musser analiza la relación entre ciertos fenómenos cuánticos y el dilema del prisionero (en el que dos delinquentes detenidos irán a la cárcel si ambos confiesan o quedarán en libertad si ambos callan; pero si solo uno confiesa, este saldrá libre con una recompensa y el otro recibirá la máxima pena). Musser señala que una manera de resolver el dilema consistiría en emplear partículas entrelazadas durante el interrogatorio.

Sin embargo, ello requeriría que el carcelero cooperase con ellos, ya que debería efectuar una medición cuántica. Además, el comportamiento empírico de los jugadores podría explicarse, sin necesidad de recurrir a metáforas cuánticas, mediante lo que el científico cognitivo Douglas Hofstadter denomina *superracionalidad*; esto es: «Mi oponente es semejante a mí, por lo que actuará como yo».

HOWARD BARNUM

RESPONDE MUSSER: *Desde luego, no parece que en el mundo real los carceleros vayan a permitir que los presos utilicen partículas entrelazadas para comunicarse. Aquí el problema consiste en elaborar un modelo matemático de la racionalidad humana. Una cosa es suponer que los seres humanos se acomodan a una definición u otra de racionalidad; otra muy distinta, describir dicho comportamiento con precisión. Es en este sentido en el que la mecánica cuántica puede resultar útil, ya que nos brinda un valioso juego de*

*herramientas matemáticas (sin que ello implique en absoluto que nuestros procesos mentales sean cuánticos en ningún sentido literal).*

## POLVO ESPACIAL

En «Meteoritos primitivos» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, abril de 2013], Alan E. Rubin se pregunta por el proceso de calentamiento que, en el sistema solar primigenio, pudo haber provocado la fusión parcial del polvo para dar lugar a los cóndrulos estratificados hallados en los meteoritos. Su artículo alude a los inconvenientes que presentan algunas explicaciones, como las ondas originadas por el estallido de supernovas. ¿Podrían los grumos de polvo haberse acelerado y calentado al interactuar con los protoplanetesimales?

JIM BONNE  
Cumming, Georgia

RESPONDE RUBIN: *Los protoplanetesimales tal vez solo midieran escasos kilómetros, por lo que el polvo que se moviese a su alrededor no habría experimentado ningún calentamiento apreciable. En los años setenta se sugirió que los cóndrulos tal vez fuesen producto de la fricción experimentada por el polvo en las atmósferas de los protoplanetas. Sin embargo, una gran cantidad de cóndrulos contienen silicatos que no guardan ninguna relación con ellos (una composición mineral y una proporción de isótopos de oxígeno distintas). Estos grumos «residuales» no son cóndrulos sin fundir, sino que provienen de una generación de cóndrulos preexistentes.*

*Resulta más sencillo suponer que algunos cóndrulos primitivos se fragmentasen al chocar con otros en la nebulosa solar, para después incorporarse al polvo antes de volver a sufrir otra fusión parcial. Ello requiere una fuente de energía capaz de fundir solo la parte exterior del cóndrulo, pero no el grumo residual de su interior. Por esa razón, varios investigadores se inclinan por un mecanismo de calentamiento de tipo descarga, similar a los relámpagos.*

## EMPATÍA Y PSICOPATÍA

En «La sabiduría de los psicópatas» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, abril de 2013], Kevin Dutton alude a la falta de empatía como un rasgo psicopático que podría llegar a resultar beneficioso. El término *psicópata*, sin embargo, suele hacer refe-

rencia a una persona de conducta amoral y antisocial.

Los individuos analizados por Dutton se dedican a actividades prosociales, lo que supone una conducta moral. Por más que carezcan de empatía, su moralidad se rige por principios como la racionalidad, la identidad, la fidelidad al grupo o a ciertos principios, el miedo al castigo o a las consecuencias, y el interés propio a largo plazo. La carencia de empatía no convierte a nadie en un psicópata. El concepto mismo de «sabiduría del psicópata» se muestra, pues, poco apropiado.

ANDREW D. WITHMONT

RESPONDE DUTTON: *No existe una única característica que marque la frontera entre quién es un psicópata y quién no. Como cualquier otro rasgo de la personalidad, los atributos que distinguen a un psicópata se hallan distribuidos de manera uniforme entre el conjunto de la población. Del mismo modo que no existe una divisoria oficial entre quien sabe tocar el piano y un concertista de ese instrumento, la frontera entre un psicópata «puro» y alguien que solo «psicopatiza» es difusa. Un individuo puede ser implacable, intrépido y carente por completo de empatía, pero, al mismo tiempo, no actuar con violencia, de modo antisocial ni de manera inconsciente.*

*Un sujeto que puntúe alto en tres rasgos psicopáticos podrá considerarse más inmerso en el «espectro del psicópata» que otro que puntúe bajo en esos mismos tres aspectos, pero nunca cerca de la «zona de riesgo» de quien registre valores elevados en todas las características del espectro.*

*Si se adopta semejante perspectiva multidimensional de la psicopatía, sí puede hablarse de una «sabiduría» asociada a ciertas combinaciones de rasgos psicopáticos, en varios niveles y en contextos profesionales diversos.*

### CARTAS DE LOS LECTORES

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA agradece la opinión de los lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:

PRENSA CIENTÍFICA, S.A.  
Muntaner 339, pral. 1.º, 08021 BARCELONA  
o a la dirección de correo electrónico:  
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.

# Apuntes

## ESCARABAJO RINOCERONTE COCOTERO (*Oryctes rhinoceros*)

Hoddle lo recolectó mientras el insecto atacaba una palmera recién plantada en Sumatra. Se trata de una importante plaga de las palmeras cocoteras que aún no ha llegado a Estados Unidos, pero Hoddle está preparado: tiene su ADN, lo que permitirá una rápida identificación.



## PICUDO DE LA PALMERA COCOTERA (*Rhynchophorus vulneratus*)

Esta plaga de las palmeras cocoteras (provocada por una especie semejante a la que ataca las palmeras de España, el picudo rojo, o *Rhynchophorus ferrugineus*) probablemente llegó hasta Laguna Beach, en California, desde Bali, afirma Hoddle, que ha analizado el ADN del animal. Sospecha que un viajero pudo llevar los insectos a Estados Unidos como alimento (en Indonesia se comen), intentó criarlos en su casa y los dejó escapar.



## ORUGA DE LA SEMILLA DEL AGUACATE (*Stenoma catenifer*)

Las orugas de esta especie perforan los aguacates y convierten su interior en una masa blanda. En Guatemala, Perú y México, el hábitat natural de estas orugas, Hoddle y sus colaboradores obtuvieron las feromonas de los insectos, las que podrían servir como un sistema de alerta temprana para advertir de su llegada a Estados Unidos. También recogieron sus enemigos naturales, que podrían utilizarse en el futuro para controlar la plaga, en caso de que llegase hasta California.



## BARRENADOR DEL ROBLE CON MANCHAS DORADAS (*Agrilus auroguttatus*)

Este escarabajo nativo del sur de Arizona ha invadido California con resultados desastrosos: ha causado la muerte de hasta 80.000 robles del Parque Nacional de Cleveland, en el condado de San Diego. Hoddle cree que los excursionistas lo extendieron sin darse cuenta, al recoger leña en Arizona y llevarla a California.

### ENTOMOLOGÍA

## Plagas potencialmente peligrosas

A pesar de su reducido tamaño, los insectos pueden causar estragos en el ambiente o en la economía de un país. Mark Hoddle, director del Centro de Investigación de Especies Invasoras de la Universidad de California en Riverside, viaja por todo el mundo estudiando y batallando contra los insectos que devoran exportaciones de gran valor comercial o plantas de interés ecológico. Hoddle almacena muestras en su laboratorio para analizar el ADN y donarlas después a colecciones científicas. A veces también atrapa insectos antes de que ocasionen problemas en su país y los conserva para el futuro. «Resulta difícil predecir la siguiente plaga invasora», explica. «De esta forma, cuando aparece, ya la tengo marcada como objetivo.»

—Anna Kuchment

## PALEONTOLOGÍA

### Falsos fósiles

**En el paso de la vida a la fosilización**, las alas de un escarabajo primitivo perdieron su color y, después, su forma. Al ser aplastadas y horneadas lentamente por la arena, las brillantes alas verdes se oscurecieron; primero se volvieron de color azul claro, después añil y finalmente negro.

La historia de la vida, muerte y fosilización de un insecto suena muy sencilla, pero la paleobióloga Maria McNamara tardó años de esfuerzos en recomponerla. Esta investigadora de la Universidad de Bristol deseaba averiguar el modo en que evolucionaron las señales de alerta, el camuflaje y los colores de cortejo de los insectos primitivos. El estudio de los fósiles ordinarios solo revela parte de la historia, ya que la mayoría de los insectos fosilizados muestran hoy una apariencia negra, quizá por haber perdido sus colores al quedar enterrados.

McNamara y su equipo decidieron trabajar a la inversa. Envejecieron artificialmente alas de escarabajos y gorgojos actuales para descubrir el efecto de la fosilización en el color.



Publicaron sus resultados en el número de febrero de la revista *Geology*.

La fosilización no constituye un proceso apacible. Para simularlo, McNamara dejó las alas de los insectos en el agua de un estanque durante 18 meses, después las calentó hasta 270 grados centígrados, una temperatura superior a la de la mayoría de los hornos domésticos, y las sometió a presiones de 500 atmósferas, para reproducir el aplastamiento y el calentamiento que convierten los residuos atrapados en el barro en fósiles pétreos. El equipo descubrió que el proceso fragmentaba y adelgazaba los caparzones reflectantes de los escarabajos, lo que hacía cambiar la longitud de onda reflejada por ellos. De este modo se transformaban del verde al azul y luego al negro.

Lo que es más importante, comprobaron que los gorgojos conservaban las estructuras de coloración conocidas como cristales fotónicos [véase «Trucos cromáticos de la naturaleza», por P. Ball; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, julio de 2012], lo cual podría significar que los fósiles que carecen de ellas probablemente nunca las tuvieron. McNamara concluye que el desarrollo evolutivo de los cristales fotónicos debe de ser reciente, al menos en los gorgojos, porque había examinado gorgojos de tres millones de años de antigüedad que no los poseían.

Algunos científicos discrepan de esa idea. Andrew Parker, entomólogo del Museo de Historia Natural de Londres, señala que cada fósil sufre un proceso diferente, de modo que resulta difícil obtener principios de aplicación general a partir de una sola especie o de un solo fósil. Sin embargo, considera que la idea es muy sugerente: «Podemos empezar a reunir información para recrear escenas de la vida en color en esa época».

—Lucas Laursen

## TECNOLOGÍA

### Vigilar la cultura desde el cielo

**La ciudadela de Alepo** (*vista aérea*) se levanta sobre esta antigua ciudad del norte de Siria y contiene los restos de palacios, mezquitas y baños que datan del siglo x d.C. El lugar, Patrimonio de la Humanidad, está hoy amenazado por la guerra civil entre los rebeldes y los soldados del presidente Bashar al-Assad.

Los conflictos armados y los desastres naturales amenazan no solo a los humanos, sino también a los lugares de interés cultural, pero evaluar los daños sobre el terreno puede resultar imposible. En lugar de ello, los expertos utilizan satélites para monitorizar y proteger museos, monumentos y otros lugares de importancia histórica que pueden hallarse en peligro. El Consejo Internacional de Museos (ICOM) colaboró con el Programa sobre Aplicaciones Operacionales de Satélite (UNOSAT), del Instituto de las Naciones Unidas para la Formación Profesional e Investigaciones, para informar sobre la región de Osetia del Sur durante la guerra entre Georgia y Rusia en 2008. UNOSAT aprovechó una red de satélites públicos y privados para obtener vistas aéreas. Con estas imágenes y las coordenadas de los lugares de interés cultural de la zona, el ICOM realizó una evaluación casa por casa en solo 24 horas. Desde entonces, este organismo ha utilizado datos de satélites para valorar los

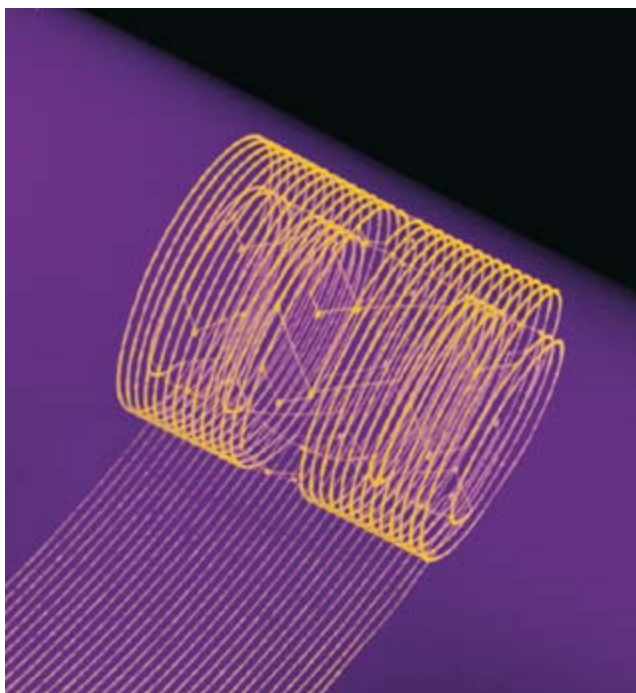


daños de antiguos mausoleos de Tombuctú durante la guerra civil de Mali de 2012 y planea evaluar la destrucción causada por el terremoto de 2010 en Haití.

Tal vez resulte imposible intervenir en regiones donde hay conflictos en curso, pero la tecnología de los satélites y el análisis de sus imágenes pueden proporcionar al ICOM información suficiente para concienciar a la comunidad internacional, realizar un llamamiento a los combatientes sobre el terreno y elaborar un plan para la rehabilitación cuando cesen los conflictos.

—Marissa Fessenden

## Circuitos blandos



**Un nuevo tipo** de circuitos tridimensionales podrían usarse para crear «materia inteligente» que reacciona a los estímulos del entorno.

**Integrar circuitos tridimensionales** en materiales blandos, como la goma, ha sido desde hace tiempo uno de los objetivos más esquivos en ingeniería. Esa dificultad tal vez desaparezca en un futuro gracias a un nuevo tipo de circuito blando y poroso, más parecido a una red que a un chip, el cual podría entretrejerse en un gran número de sustancias. Ello permitiría crear «materia inteligente» que reacciona ante los estímulos del entorno, así como incorporarlos en tejidos biológicos para crear piel y órganos que informasen sobre el estado de salud del portador.

Jia Liu y Charles Lieber, expertos en nanotecnología de la Universidad Harvard, y sus colaboradores han creado circuitos bidimensionales con cables de silicio de unos 30 nanómetros de espesor. A pesar de la resina epoxi endurecida que reviste los nanocables, su estructura es similar a la de una red con grandes huecos, por lo que el 99 por ciento del espacio ocupado por estos circuitos planos se encuentra vacío. Su flexibilidad permite enrollarlos como pergaminos, lo cual da lugar a estructuras tridimensionales que podrían emplearse para construir circuitos mucho más avanzados. El espacio vacío puede rellenarse con todo tipo de sustancias, introduciéndolas primero en estado líquido y dejando después que se solidifiquen. Los materiales híbridos resultantes podrían llegar a constituir sistemas «muy inteligentes», asegura Liu. Los resultados de su grupo aparecieron publicados

en el mes de abril en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*.

Insertadas en caucho de silicona, esas redes electrónicas alertarían sobre cuándo y cómo se ha deformado el material; por ejemplo, para avisar a un conductor del daño sufrido por uno de sus neumáticos antes de que sufra un reventón. Futuras versiones permitirían fabricar accesorios que monitorizaran los signos vitales, sugiere Liu, así como lentes de contacto que registrasen y mostrasen datos. «Creemos que nuestra técnica brinda numerosas oportunidades para integrar sistemas electrónicos en todos los aspectos de la vida», sostiene el investigador. Yat Li, químico de materiales de la Universidad de California en Santa Cruz que no participó en el proyecto, parece estar de acuerdo: «Se trata de una investigación puntera, que lleva los sensores electrónicos a un nuevo nivel de complejidad y funcionalidad», asegura.

Las redes podrían combinarse con geles que contengan células vivas. Los «tejidos cibernéticos» resultantes se utilizarían como repuestos para órganos dañados, los cuales proporcionarían información sobre su estado o incluso mejorarían las capacidades humanas. Una piel sintética, por ejemplo, incorporaría sensores extra. También podrían fabricarse huesos y músculos más fuertes. «Los tejidos cibernéticos constituirán la aplicación más importante de esta investigación», concluye Liu.

—Charles Q. Choi

### PATENTES

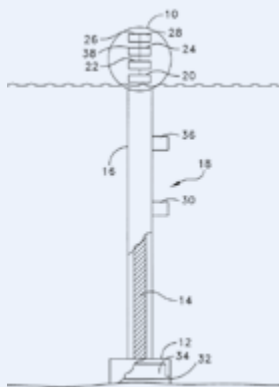
**Aprovechamiento de la energía submarina con cables piezoeléctricos:** Las boyas no solo sirven para señalar los lugares peligrosos para la navegación. También registran las condiciones marítimas y eólicas, asisten a los meteorólogos, graban los cantos de ballenas y permiten al ejército detectar vehículos submarinos. Aunque la mayoría de las boyas emplean baterías, los ingenieros llevan largo tiempo intentando aprovechar la energía de las corrientes marinas para mantenerlas activas. Estas, sin embargo, no suelen activar una turbina con la rapidez suficiente para producir electricidad sin interrupciones.

Según Derke R. Hughes, ingeniero jefe del Centro Naval para la Guerra Submarina de la Marina estadounidense, la solución pasa por construir las boyas con un material que genere electricidad. Los materiales piezoeléctricos pertenecen a esa clase. Poseen una estructura cristalina con polos positivos y negativos; cuando se los somete a presión, un número suficiente de ellos se alinea, se crea un voltaje y se produce un flujo de cargas.

La licencia número 8.274.167 de la Oficina de Patentes estadounidense describe una boya que genera su propia energía. Su parte flotante se halla conectada a un largo cable anclado en el fondo marino o amarrado a un peso. El núcleo del cable está compuesto de titanato zirconato de plomo, un material piezoeléctrico sintetizado en el Instituto de Tecnología de Tokio. Cuando las corrientes marinas fluyen alrededor, se crean microrremolinos que lo hacen vibrar «como una cuerda de guitarra», explica Hughes. La potencia generada depende de la longitud y la tensión del cable, pero en principio podría bastar para alimentar una batería de sónares.

¿Generaría una central compuesta por boyas los megavatios necesarios para suministrar electricidad a tierra firme? «Cabe imaginar un gran número de boyas que funcionen en serie. Sería cuestión de hacerlo bien», afirma Hughes. Por el momento la idea funciona sobre el papel, pero aún debe construirse el primer prototipo.

—Marissa Fessenden





## Exoplanetas más cerca de casa

La misión Kepler, de la NASA, ha descubierto miles de posibles mundos en torno a estrellas lejanas. Más de cien de esos candidatos a exoplanetas ya han sido confirmados como tales y algunos de ellos se cuentan entre los planetas conocidos con un tamaño más parecido al de la Tierra. De los 25 exoplanetas descubiertos hasta ahora con diámetro menor que el de nuestro planeta, todos menos uno han sido hallados por Kepler. Los resultados de la misión solo adolecen de un pequeño problema: los nuevos planetas se hallan a cientos o incluso miles de años luz de distancia, demasiado lejos para investigarlos con detalle.

Para remediarlo, la NASA ha dado luz verde al Satélite para el Sondeo de Tránsitos de Exoplanetas (TESS). Con un coste de unos 200 millones, será lanzado en 2017 y explorará una porción del cielo mucho mayor que su predecesor, gracias a lo cual espera descubrir exoplanetas más cercanos. «En total, examinaremos en torno a medio millón de estrellas», explica George R. Ricker, astrofísico del Instituto de Tecnología de Massachusetts e investigador principal del proyecto. Miles de esas estrellas se encuentran a menos de cien años luz del sistema solar.

Al igual que el telescopio Kepler y el europeo CoRoT, el satélite TESS buscará tránsitos planetarios; es decir, las breves atenuaciones en la luz de una estrella que, cuando se suceden a intervalos re-

gulares, delatan que un exoplaneta orbita a su alrededor. Ricker estima que el nuevo instrumento podría descubrir entre 500 y 700 planetas de tamaño similar al de la Tierra o solo algunas veces mayor, algunos de los cuales bien podrían ser habitables.

Para cuando el satélite TESS concluya su misión, de unos dos años, tal vez los astrónomos ya dispongan de un nuevo y potente instrumento para examinar los nuevos planetas: el telescopio espacial James Webb. Con un lanzamiento previsto para 2018, este podría identificar indicios de vida en un planeta cercano mediante un análisis químico de su atmósfera. En principio, la detección de ciertas moléculas permitiría deducir la existencia de vida extraterrestre. Los expertos ya han simulado la capacidad del telescopio James Webb para analizar la atmósfera de un planeta habitable cercano: «Casi podemos percibir indicios biogénicos, aunque no del todo», señala Ricker. «Para eso tal vez haga falta un nuevo instrumento».

En todo caso, si el satélite TESS logra descubrir cientos de planetas cercanos, los astrónomos tendrán mucho trabajo en los próximos años: averiguar cómo son, qué tipo de hábitats podrían albergar y, quizá, considerar la idea de enviar una sonda hacia alguno especialmente atractivo.

—John Matson



**Recreación artística**  
del futuro satélite buscador de exoplanetas TESS, proyectado por la NASA.

CORTESÍA DEL INSTITUTO KAVLI DE ASTROFÍSICA E INVESTIGACIÓN ESPACIAL, INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE MASSACHUSETTS; EXPOSICIÓN ITINERANTE «MIRADAS A LA MUJER IBÉRICA» (Dama de Baza y Dama de Elche)

### CONFERENCIAS

5 de septiembre

#### El lenguaje de la ciencia

Margarita Salas  
Instituto Cervantes  
Madrid

Ciclo de conferencias del cincuentenario de la SEBBM  
[www.sebbm.es/ES/50-aniversario\\_16](http://www.sebbm.es/ES/50-aniversario_16)

### EXPOSICIONES

Del 9 al 29 de septiembre

#### La esfera del agua

Vilaseca  
[www.agua2013.es](http://www.agua2013.es)

Hasta el 15 de septiembre

#### Miradas a la mujer ibérica

Museo de Arqueología de Cataluña  
Ullastret  
[www.miradasalamujeriberica.es](http://www.miradasalamujeriberica.es)



### OTROS

Del 1 al 6 de septiembre

#### 11.ª conferencia internacional sobre paleoceanografía

Sitges  
[www.icp2013.cat](http://www.icp2013.cat)

Del 9 al 12 de septiembre

#### Congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias

Gerona  
[www.congresoensciencias.com](http://www.congresoensciencias.com)

Del 16 al 20 de septiembre

#### Conferencia europea sobre sistemas complejos

Barcelona  
[www.eccs13.eu](http://www.eccs13.eu)

Del 23 al 28 de septiembre

#### Niels Bohr y la vieja teoría cuántica

Centro de Ciencias de Benasque Pedro Pascual  
Benasque  
[benasque.org](http://benasque.org)

Del 30 de septiembre al 1 de octubre

#### Conferencia ICREA sobre el origen de la multicelularidad

Barcelona  
[www.multicellularity2013.com](http://www.multicellularity2013.com)

## La enseñanza de la ciencia de los nóbel

Crónica de una cita en Lindau

Antiguamente, los congresos científicos eran actividades con mayor impacto que los de ahora. Los expertos en un tema se reunían, presentaban resultados novedosos, discutían estos avances y, a menudo, sugerían nuevos caminos por los que iría la ciencia. Algunos ejemplos de este tipo de encuentros fueron el de los químicos en Karlsruhe en 1860 (en el que se cambió el curso de la química); el Congreso Anatómico de Berlín en 1889, en el que Ramón y Cajal presentó su teoría de la neurona; o el Congreso de Matemáticas de París en 1900, donde Hilbert presentó una panorámica general de la situación de las matemáticas de aquel momento y su evolución futura.

En la actualidad, los congresos son bastante menos apasionantes y románticos. Aunque se invita a científicos destacados para que impartan conferencias, estos suelen limitarse a contar resultados ya publicados, por lo que, para los especialistas en el tema, no hay apenas novedades.

El encuentro de nóbeles que se celebra cada año en la bella y tranquila ciudad alemana de Lindau es, en ese sentido, una reunión especial. Congrega a centenares de jóvenes científicos y decenas de galar-

donados con el premio Nobel. A principios de julio tuvo lugar la 63.<sup>a</sup> edición del mismo, en la que participaron 35 premios nóbel y alrededor de 625 jóvenes investigadores de unos 80 países, entre ellos 23 representantes de España, siendo el quinto país con más participantes (tras Alemania, Estados Unidos, China e India). Dado que los participantes son seleccionados mediante criterios exigentes, este dato demuestra la calidad de los jóvenes científicos españoles.

Las reuniones de Lindau suelen centrarse en un área científica en particular. Este año le llegó el turno a la química. Se contó con la participación de 24 galardonados con el Nobel de química. También asistieron 6 premios de física, 4 de fisiología y medicina, y uno de la paz (que participó en la mesa redonda de la clausura).

El programa fue muy intenso: conferencias plenarias de los galardonados —con asistencia de todos, incluidos los medios de comunicación, colectivo en el que participé en calidad de bloguero, invitado por *Investigación y Ciencia* y *Nature*—, discusiones de los galardonados solo con los jóvenes investigadores, clases magistrales (con número reduci-

do de asistentes, por inscripción), mesas redondas (para todos los asistentes) y desayunos científicos sobre algunos de los temas generales debatidos en el encuentro, especialmente relacionados con la producción, el almacenamiento de la energía y sus implicaciones ambientales (la asistencia era por invitación).

Asimismo, tuvimos la posibilidad de charlar directamente con algunos de los premiados. Ello me permitió entrevistar a Richard Schrock y Robert Grubbs (compartieron el premio Nobel de química en 2005 por sus investigaciones sobre la reacción de metátesis de olefinas) y a Walter Kohn (galardonado en 1998 por el desarrollo de métodos computacionales cuánticos para el estudio de sustancias químicas). Las conversaciones con los tres fueron muy gratificantes. Hablamos de sus trabajos pasados y presentes, así como de aspectos generales sobre la investigación científica (la presión por publicar muchos artículos y el futuro de los jóvenes). Con Grubbs y Schrock discutimos sobre la importancia que la química verde y los métodos catalíticos tienen en la reducción del impacto ambiental de la industria química. Con Kohn, sobre las

KATHLEEN RAVEN (mesa redonda); BEATRICE LUGGER (S. Haroche con estudiantes)



**MESA REDONDA** (izquierda) sobre la conversión y el almacenamiento de la energía química, conducida por los laureados con el Nobel de química Gerhardt Ertl (2007), Robert H. Grubbs (2005), Walter Kohn (1998), Hartmut Michel (1988) y Richard Schrock (2005). Los estudiantes aprovechan una de las pausas del encuentro (derecha) para charlar con el nóbel de física Serge Haroche (2012).

energías renovables y la repercusión de su trabajo —como físico teórico— en los químicos.

Todas las conferencias fueron de alto nivel. Allí se presentaron algunos de los resultados científicos más importantes de las últimas décadas. Y algunos de los galardonados fueron más allá: sus ponencias llevaron a la reflexión científica, así como humana y filosófica. En este aspecto, cabe resaltar las conferencias de Jean-Marie Lehn (sobre la evolución de la química), Steve Chu (sobre el uso de la energía en el futuro), Richard Ernst (que recomendó dedicarse a actividades para-

lelas a la ciencia, con el fin de enriquecer la carrera del científico), Aaron Ciechanover (que abordó un problema tan amplio como la posible curación de todas las enfermedades, ofreciendo una visión histórica, muy general y perspectivas de futuro de esta área multidisciplinar), Ada Yonath (que demostró que se puede ser mujer, científica y tener una vida familiar normal) y Harold Kroto (que ofreció una panorámica general de la situación de la ciencia, sus fortalezas y debilidades, y la importancia de la cultura científica).

También merece la pena destacar una de las mesas redondas, donde se debatió,

con participación activa de la audiencia, sobre la necesidad de comunicar la ciencia a la sociedad. En esta participaron los laureados Kroto, Brian Kobilka y Yonath y los blogueros Beatrice Lugger y Simon Engelke, con Adam Smith como moderador.

En suma, una gran reunión científica, por lo que allí se expuso y por la excelente interacción entre los jóvenes investigadores y los premios nobel.

—Bernardo Herradón  
Instituto de Química Orgánica General  
CSIC  
Madrid

#### MEDIOAMBIENTE

## El futuro del ciclo del nitrógeno

La enorme repercusión de las actividades humanas en el ciclo del nitrógeno obliga a reconsiderar las pautas de consumo de recursos terrestres en los países desarrollados

A pesar de que casi el 80 por ciento de la atmósfera terrestre se compone de dinitrógeno (gas nitrógeno,  $N_2$ ), la mayoría de los organismos vivos no pueden asimilar esta forma del elemento y deben convertirlo en otras que sí puedan utilizar, como el amoníaco. Durante mucho tiempo los humanos han aprovechado la capacidad de los cultivos de leguminosas para fijar este gas en compuestos reactivos de nitrógeno asimilables y mejorar así la fertilidad de los suelos. Sin embargo, hoy la cantidad de nitrógeno reactivo producido de este modo se ha visto superado en gran medida por el de origen industrial. Junto con los óxidos de nitrógeno, otro compuesto reactivo que se forma como subproducto de procesos de combustión, el nitrógeno liberado en el ambiente por las actividades humanas está dando lugar a una serie de consecuencias imprevistas. En un trabajo publicado en *Nature* el pasado febrero, X. Liu y sus colaboradores han cuantificado la envergadura de la alteración del ciclo del nitrógeno en China provocada por actividades como la producción de alimentos, el transporte y el consumo de energía.

En una investigación de gran relevancia, Liu ha demostrado que la mayor liberación de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ) a la atmósfera se correlaciona con un aumento en la deposición de nitrógeno reactivo atmosférico ( $N_r$ ) hallado en las precipitaciones. Su estu-

dio se basa en más de 300 conjuntos de datos publicados relativos a la deposición de  $N_r$  en China a lo largo de un período de 30 años (de 1980 a 2010). Y lo que es más importante, los autores han demostrado que esas alteraciones han hecho variar la absorción de nitrógeno por las plantas y su concentración en las hojas.

Si bien el objetivo principal de la investigación ha consistido en cuantificar los cambios biogeoquímicos y biológicos, los resultados pueden considerarse también indicadores de una alteración multidimensional del ciclo del nitrógeno. Varios fenómenos contribuyen a dicha modificación: la formación de partículas finas en el aire que contienen nitrógeno, nocivas para la salud humana; la influencia de los compuestos  $NO_x$  en la formación de ozono en el suelo, que causa pérdidas en las cosechas; el aumento de emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ), un gas de efecto invernadero; y, finalmente, los niveles extremos de contaminación de aguas por nitratos y otras formas de  $N_r$ . La contaminación de las aguas suscitó especial preocupación durante los Juegos Olímpicos de Pekín de 2008, cuando una «marea verde» de algas interrumpió los entrenamientos para las competiciones de vela.

Según el estudio, la deposición de  $N_r$  atmosférico en China ha aumentado un 60 por ciento desde 1980. No obstante, los resultados obtenidos se basan en la cantidad de  $N_r$  capturado en recolectores

de aguas pluviales y, tal y como señalan los autores, sin duda la deposición total resulta superior. Ello se debe a que los dispositivos capturan la mayor parte de las lluvias pero tan solo una parte de las precipitaciones de nieve. También recogen gases, partículas finas y niebla que contienen  $N_r$ , aunque en una cantidad muy inferior a la depositada sobre la cubierta vegetal. Por lo tanto, cabe esperar que la deposición anual total de  $N_r$  en los ecosistemas chinos alcance con frecuencia más de 80 kilogramos de nitrógeno por hectárea, una cifra varias veces superior a la obtenida con los recolectores de aguas pluviales.

Con el fin de evaluar el efecto de la mayor deposición de nitrógeno sobre la vegetación, los investigadores utilizaron datos de ensayos de fertilización de cultivos, que suelen incluir medidas de referencia sobre la producción de parcelas no abonadas. Tras combinar los datos obtenidos en distintos puntos de China, los autores han calculado un aumento del 15 por ciento en la absorción de nitrógeno por las plantas desde 1980. En principio, la introducción de  $N_r$  derivado de las emisiones de  $NO_x$  podría haber mejorado la productividad de los cultivos. Sin embargo, no han observado un crecimiento neto en ellos, lo cual mantiene abierta la pregunta sobre si el efecto fertilizante derivado de una mayor deposición de  $N_r$  compensa la reducción del crecimiento

como consecuencia del ozono del suelo originado a partir de los  $\text{NO}_x$ . En el caso de ecosistemas naturales, el aporte adicional de nutrientes continúa representando una notable amenaza para la diversidad biológica.

Las tasas de fertilización con nitrógeno en China se sitúan entre las más elevadas del planeta. Este hecho que se ha visto favorecido por las subvenciones que concede el país a la producción de abonos, una medida establecida para hacer frente a cuestiones de seguridad alimentaria. Sin embargo, la dependencia de los fertilizantes ha limitado el reciclaje del nitrógeno del estiércol y de las aguas residuales, lo que ha reducido la eficiencia del uso de nitrógeno en su totalidad. El consumo de abonos en China puede compararse con las tasas regionales y mundiales de fertilización total (con abonos que contienen compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio) estimadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación

y la Agricultura (FAO). En la década de los sesenta, el mayor empleo de fertilizantes tenía lugar en los países desarrollados (75 kilogramos por hectárea). En 2006, Asia Oriental (incluida China) se había puesto a la cabeza con un valor medio de unos 200 kilogramos por hectárea, cifra que a menudo se multiplicaba por cinco en algunos lugares. Liu apunta que, desde 1980, a ese problema se ha añadido un número de cabezas de ganado 3,2 veces superior y una cantidad de vehículos 20,8 veces mayor, lo que acentúa la contaminación por  $\text{N}_r$  en China.

Pero el nitrógeno no solo despierta inquietud en ese país. Los cálculos de la FAO prevén un aumento del 50 por ciento en el consumo mundial de abonos hacia 2050, como consecuencia del crecimiento de la población, la mejora de las dietas y un mayor consumo de productos de origen animal. Al mismo tiempo, los pronósticos que hacen énfasis en el crecimiento demográfico y económico estiman hacia

2050 un aumento global del 70 por ciento de la liberación de nitrógeno al ambiente. Para entonces, se prevé que el consumo medio de abonos en Latinoamérica y en el sur de Asia se aproximará a los niveles de China y que también se producirán incrementos notables en el norte de África y Oriente Próximo.

En líneas generales, los aumentos regionales en las pérdidas de  $\text{N}_r$  son equiparables y los pronósticos apuntan a un empeoramiento de los efectos de la contaminación por nitrógeno, con un aumento de las emisiones de  $\text{NO}_x$  en Asia, a no ser que se tomen medidas al respecto. De hecho, tales predicciones tal vez resulten benévolas. Si se extrapolan las tendencias actuales indicadas por Liu, hacia 2050 podríamos observar en China un aumento del 85 por ciento en  $\text{NH}_3$  y del 200 al 240 por ciento en las emisiones de  $\text{NO}_x$ .

Los datos arriba mencionados subrayan la urgencia de una acción global para hacer frente a las crecientes concentraciones de nitrógeno. Con todo, tal y como se refleja en un informe reciente, no existe una convención internacional que defina los objetivos para una gestión más adecuada de los ciclos globales del nitrógeno y otros nutrientes. Los autores de dicho informe (entre ellos los autores del presente artículo) han propuesto un objetivo compartido al que aspirar para mejorar en un 20 por ciento la eficiencia en el uso del nitrógeno hacia 2020; un cálculo de costes y beneficios indica que ello podría suponer un ahorro neto de unos 170.000 millones de dólares. Conseguirlo requeriría cambios en las prácticas industriales y agrarias, así como una reevaluación de las pautas de consumo de la sociedad occidental. Pero la obtención de tales objetivos exige que las naciones se organicen y se comience a plantear seriamente la cuestión del nitrógeno.

—Mark A. Sutton

Centro de Ecología e Hidrología (CEH)  
del Consejo de Investigación  
del Medio Natural (NERC)

Estación de Investigación de Edimburgo

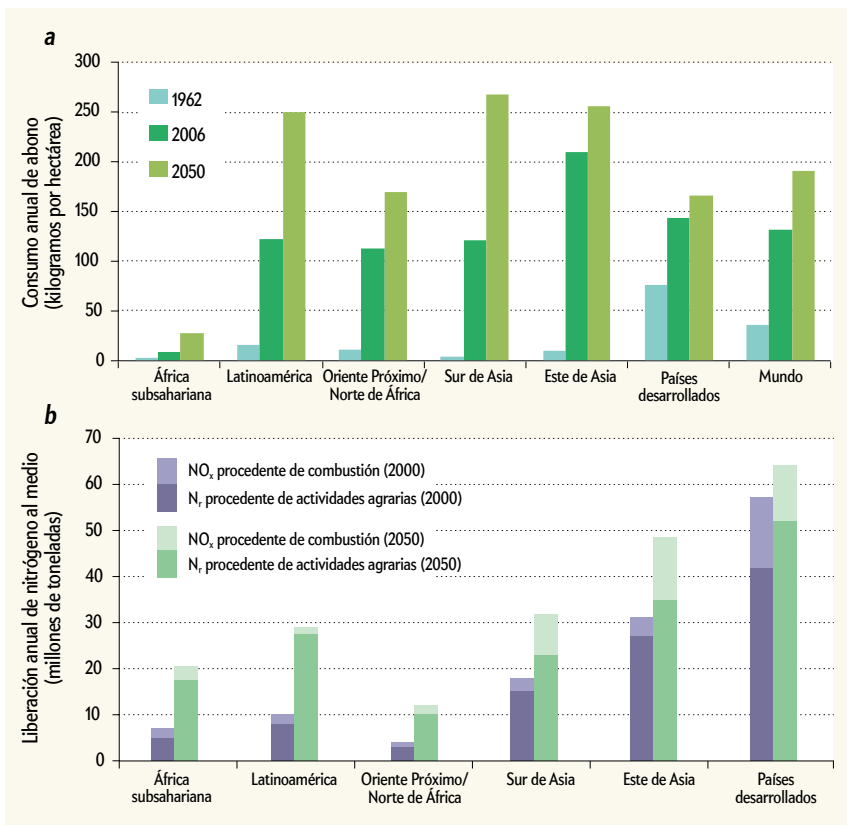
—Albert Bleeker

Centro de Investigación de Energía  
de los Países Bajos (ECN)

Ambos también pertenecen a la  
Iniciativa Internacional del Nitrógeno,  
auspiciada por el CEH y el ECN.

Artículo original publicado en *Nature* 494,  
págs. 435-436, 2013.

Traducido con el permiso  
de Macmillan Publishers Ltd. © 2013



**EMPLEO DE ABONOS** y liberación de nitrógeno al ambiente. En las distintas regiones del planeta se ha producido un aumento acentuado del consumo global de abonos (que contienen nitrógeno, fósforo y potasio) en las últimas décadas, ascenso que continuará en el futuro debido al crecimiento de la población, la mejora de las dietas y el mayor consumo de productos de origen animal (a). Paralelamente a este aumento, se prevén pérdidas hacia el ambiente de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en emisiones procedentes de combustiones y de nitrógeno reactivo ( $\text{N}_r$ ) procedente de actividades agrarias (b).