

# INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**



## MATERIALES

Física exótica  
del grafeno

## MEDICINA

Mejora de las  
vacunas de ADN

## PSICOLOGIA

La inteligencia  
de los bebés

## EVOLUCION

Nuevo origen  
de las aves modernas

# ¿PIERDE ENERGIA EL UNIVERSO?



La luz parece violar la ley  
de la conservación de la energía





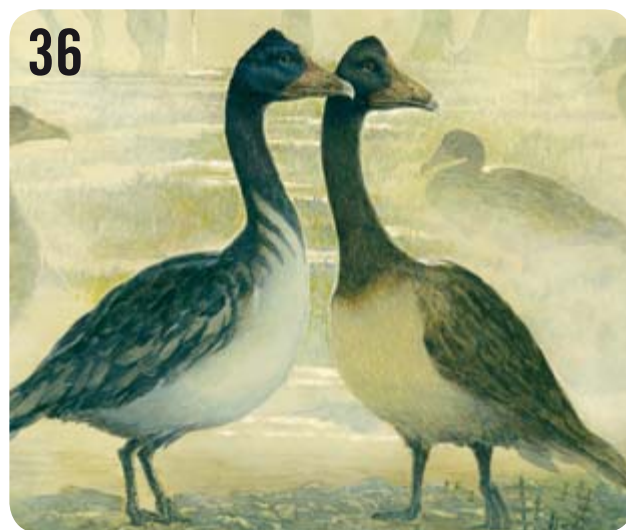
26

Los últimos avances en geotermia permiten nuevas fuentes de energía limpia.



20

Los tratamientos basados en ADN suministran un gen para curar una dolencia.



36

El éxito de las primeras aves modernas tal vez residiera en su menor especialización evolutiva.

## ARTICULOS

### COSMOLOGIA

#### 12 ¿Pierde energía el universo?

Tamara M. Davis

La energía total se conserva. Cualquier estudiante de física conoce esta ley. No obstante, existe un problema: no puede aplicarse al universo en su conjunto.

### MEDICINA

#### 20 Fármacos basados en ADN

Matthew P. Morrow y David B. Weiner

Tras años de intentos fallidos, una nueva generación de vacunas y medicamentos contra el VIH, la gripe y otras enfermedades persistentes son ahora objeto de ensayos clínicos.

### NUEVAS ENERGIAS

#### 26 Energía limpia a partir de aguas residuales

Jane Braxton Little

Dos ciudades de California tratan sus aguas residuales y las bombean al subsuelo para producir electricidad.

### EVOLUCION

#### 36 Origen de las aves modernas

Gareth Dyke

Se pensaba que las aves modernas se habían originado tras la extinción de los dinosaurios. Ahora sabemos que vivieron junto a ellos.

### MATERIALES

#### 42 Electrónica del grafeno

José González Carmona, M.<sup>a</sup> Angeles Hernández Vozmediano y Francisco Guinea

El grafeno, una lámina de carbono cuyo espesor puede ser de un solo átomo, muestra propiedades electrónicas exóticas que revisten un gran interés para la investigación fundamental y el desarrollo de nuevos materiales.

### BIOLOGIA DEL DESARROLLO

#### 50 Desarrollo embrionario y evolución

Katherine E. Willmore

Un amplio espectro de factores, genéticos y físicos, de localización y cronológicos, impone límites a los rasgos de un animal o amplifica los cambios



12



A escalas cosmológicas, la energía no admite una definición libre de ambigüedades.



58

Ensayo, error e hipótesis en la mente del bebé.



74

La agricultura vertical en las ciudades evitaría el transporte de alimentos a grandes distancias.

## PSICOLOGIA

### 58 Así piensan los bebés

*Alison Gopnik*

Los niños, incluso los más pequeños, saben, experimentan y aprenden mucho más de lo que se creía.

## ASTRONOMIA

### 64 La selenografía en los siglos XIX y XX

*Manfred Gottwald*

Desde la invención de la fotografía hasta el comienzo de la exploración local.

## SOSTENIBILIDAD

### 74 Agricultura vertical

*Dickson Despommier*

El cultivo en rascacielos urbanos consumiría menos agua y combustibles que la agricultura a cielo abierto, paliaría la degradación de las tierras y nos proveería de alimentos frescos.

## FILOSOFIA DE LA CIENCIA

### 82 ¿Es la teoría de cuerdas una ciencia?

*Dieter Lüst*

Los críticos la acusan de hacer afirmaciones que escapan a toda verificación empírica. Puede que la teoría de cuerdas obligue a un cambio paulatino de paradigmas en la física.

## SECCIONES

**3 HACE...**

**4 APUNTES**

**6 CIENCIA Y SOCIEDAD**

**32 DE CERCA**

A plena luz,  
por *Carles Carboneras*

**34 DESARROLLO SOSTENIBLE**

Cómo paliar el déficit presupuestario,  
por *Jeffrey D. Sachs*

**35 CIENCIA Y GASTRONOMIA**

Merengues, cristales de aire,  
por *Hervé This*

**88 CURIOSIDADES DE LA FISICA**

Así se reparten los átomos el espacio,  
por *Norbert Treitz*

**92 JUEGOS MATEMATICOS**

Releyendo a Borges,  
por *Gabriel Uzquiano*

**94 LIBROS**

# INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTORA GENERAL Pilar Bronchal Garfella  
DIRECTORA EDITORIAL Laia Torres Casas  
EDICIONES Anna Ferran Cabeza

Ernesto Lozano Tellechea  
Yvonne Buchholz

PRODUCCIÓN M.<sup>a</sup> Cruz Iglesias Capón  
Albert Marín Garau

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez  
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia  
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado

Olga Blanco Romero

EDITA Prensa Científica, S.A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona (España)  
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413  
www.investigacionyciencia.es

## SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF Mariette DiChristina  
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting  
CHIEF NEWS EDITOR Philip M. Yam  
SENIOR WRITER Gary Stix

EDITORS Davide Castelvecchi, Graham P. Collins,  
Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer,  
George Musser, Christine Soares, Kate Wong

CONTRIBUTING EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,  
Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway,  
Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie,  
Michael Shermer, Sarah Simpson

ART DIRECTOR Edward Bell

MANAGING PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

PRESIDENT Steven Inchcoombe

VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION Frances Newburg

VICE PRESIDENT, FINANCE AND BUSINESS DEVELOPMENT Michael Florek

## DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

Pol. Ind. Pinares Llanos - Electricistas, 3  
28670 Villaviciosa de Odón (Madrid) - Teléfono 916 657 158

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> - 08021 Barcelona

## PUBLICIDAD

Teresa Martí Marco

Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> 08021 Barcelona

Tel. 934 143 344 - Móvil 653 340 243

publicidad@investigacionyciencia.es

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### Asesoramiento y traducción:

Yago Ascasibar: *¿Pierde energía el universo?*; Juan Manuel González Mañas: *Fármacos basados en ADN*; Joandomènec Ros: *Origen de las aves modernas*; Alejandra Delprat: *Desarrollo embrionario y evolución*; Luis Bou: *Así piensan los bebés y Agricultura vertical*; Teodoro Vives: *La selenografía en los siglos XIX y XX*; Raquel Santamarta: *¿Es la teoría de cuerdas una ciencia?*; J. Vilardell: *Hace...*; Bruno Moreno: *Apuntes y Ciencia y sociedad*; M<sup>a</sup> Rosa Zapatero Osorio: *Apuntes*; Carlos Lorenzo: *Ciencia y sociedad*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*; M<sup>a</sup> Rosa Vallés: *Ciencia y gastronomía*; Jürgen Goicoechea: *Curiosidades de la física*



Portada: Mark Hooper

## SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.  
Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona (España)  
Teléfono 934 143 344  
Fax 934 145 413  
www.investigacionyciencia.es

### Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	65,00 euros	120,00 euros
Resto del mundo	100,00 euros	190,00 euros

### Ejemplares sueltos:

El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

Difusión controlada

Copyright © 2010 Scientific American Inc., 75 Varick Street, New York, NY 10013-1917.

Copyright © 2010 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 - 76

Imprime Printer Industria Gráfica Ctra. N-II, km 600 - 08620 Sant Vicenç dels Horts (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

Recopilación de Daniel C. Schlenoff

## ...cincuenta años

**Evolución humana.** «El *Homo sapiens* es el resultado de la mutación, la recombinación y la selección natural. Sus antecesores ya habían desarrollado las habilidades para usar y fabricar herramientas, así como la capacidad para la transmisión cultural. Pero el siguiente paso evolutivo fue de tal magnitud que supuso una diferencia fundamental con respecto a los precedentes. Había aparecido un organismo cuyo dominio de la tecnología y de la comunicación simbólica le permitió crear una cultura supraorgánica. Otros organismos se adaptan al entorno a través de cambios en sus genes, los cuales obedecen a las exigencias del ambiente circundante. El hombre, y sólo el hombre, puede también transformar el entorno para que sea éste el que se adapte a sus genes. Sus genes le permiten inventar utensilios nuevos, cambiar de opinión, propósitos y conducta, adquirir nuevos conocimientos y desarrollar el saber. —Theodosius Dobzhansky»

## ...cien años

**La enfermedad del sueño.** «Con anterioridad a los años noventa, en Uganda se desconocía la enfermedad del sueño. Su introducción se atribuye a Emin Pasha [Eduard Schnitzer] y los 10.000 seguidores que fueron trasladados desde los límites del territorio del Congo, foco de la enfermedad. Se planteó la cuestión de cómo se propagaba el parásito. Se sabía que la mosca tse-tse era la responsable de la terrible peste bovina entre el ganado sudafricano, por lo que se sospechaba de un insecto chupador que azotaba las orillas del lago. Se trata de un miembro de la especie tse-tse conocido como *Glossina palpalis*, al que las autoridades nativas llaman *kivu*. Se comparó un mapa de los lugares donde proliferaban las moscas tse-tse con otro en el que se señalaban las zonas de enfermedad del sueño: ambos territorios coincidían.»



FUENTE DE SABER o, cuando menos, de higiene. 1910.

**Una fuente.** «Ha sido objeto de invención una fuente de agua potable sanitaria para su uso en escuelas y otros lugares públicos. Tal y como muestra la ilustración, un conjunto de tubos, que pueden curvarse como se desee a efectos ornamentales, se disponen de manera que conduzcan el agua a un mismo punto. El impacto del agua en ese lugar da origen a un chorro a modo de pequeño géiser al que el bebedor puede aplicar la boca. Al tiempo, el agua no aprovechada cae hacia la base de la fuente.»

## ...ciento cincuenta años

**Pesca con veneno.** «Acaba de publicarse (en Inglaterra) un documento sobre la caza de ballenas mediante el uso de veneno. El agente en cuestión es el cianuro de hidrógeno, también llamado ácido prúsico. Este sutil veneno fue introducido, en cantidades de unas dos onzas [sesenta centímetros cúbicos], en tubos de vidrio sujetos al arpón. Los señores W. y G. Young enviaron varios de esos arpones a uno de sus barcos que faenaban en Groenlandia. Al topar con una ballena de buen tamaño, uno de ellos fue lanzado con destreza y se incrustó profundamente en el cuerpo del animal. El leviatán se hundió perpendicularmente hacia abajo. Al poco tiempo, la cuerda se aflojó y la ballena apareció muerta en la superficie. La tripulación quedó tan horrorizada ante el tremendo efecto del arpón envenenado que se negó a volver a emplear otro.»

**Combustión interna.** «Un parisino, de nombre Etienne Lenoir, está causando sensación entre sus compatriotas mediante la exhibición de un motor calórico. Su pequeño taller, en una callejuela, se ve asediado a diario por una multitud de curiosos de todas las clases sociales. Según *Cosmos* y otros periódicos franceses, la era del vapor ha terminado; Watt y Fulton no tardarán en ser olvidados. Así es como se hacen estas cosas en Francia. El de Lenoir es un motor de explosión. En el cilindro, una chispa eléctrica inflama una mezcla de aire e hidrógeno o gas de alumbrado, lo que consigue que el pistón se mueva en vaivén. Desde el punto de vista práctico, se objeta a estos motores las fuertes sacudidas mecánicas y la acumulación de calor. La gasolina, aunque mucho más costosa (como combustible) que el carbón, es tan limpia y manejable que algún día empezará a emplearse en la multitud de pequeños motores que accionarán las máquinas de coser y otros aparatos ligeros.»

[NOTA: El motor de Lenoir está considerado como el primer motor de combustión interna comercialmente viable.]

**Fábrica de gas.** «Una dama que viajaba en un ómnibus de Washington, al divisar la gran cúpula inacabada del Capitolio (que, por ahora, no se asemeja demasiado a una cúpula) dijo inocentemente: “Supongo que ésa es la fábrica de gas, ¿verdad?”. “Sí, señora, para la *nación*”, fue la respuesta de otro pasajero.»

### Errata corrige

En el artículo “Ciegos con visión” del mes de julio, pág. 37, en la oración “En la visión ciega de las emociones expresadas por otra persona interviene también el CS, así como ciertas regiones del mesencéfalo, como la amígdala”, el término “amígdala” debe sustituirse por “sustancia gris periacueductal”.

En el artículo “Botox falsificado, una amenaza real” del mes de agosto, pág. 74, donde figura “una unidad de NTB equivale a 4,8 nanogramos”, debe sustituirse “una unidad” por “100 unidades”.



ASTEROIDES

Un pasado problemático

Los asteroides corresponden a restos de la formación planetaria. Su historia completa es, sin embargo, mucho más compleja y apenas revelada. Lo que los expertos denominan asteroides es tan variopinto —desde cantos rodados y montones de grava flotante a miniplanetas con signos de una actividad volcánica anterior e incluso agua líquida— que no pueden tener un mismo origen.

Sólo los de mayor tamaño (más de 100 kilómetros de diámetro) datan de los albores del sistema solar, hace 4,6 mil millones de años. Entonces, nuestro sistema no era más que un enjambre de asteroides o "planetesimales". Cómo se ha llegado a este punto es un misterio, pero la idea dominante es la del polvo primordial girando en torno a un Sol naciente que coaguló en cuerpos cada vez mayores. Algunos de esos cuerpos

se juntaron para formar los planetas; otros, acelerados por la gravedad de los más voluminosos, fueron lanzados al espacio profundo; y otros cayeron hacia el Sol; y unos pocos no hicieron nada de lo anterior. Esos supervivientes subsisten en puntos donde los planetas los han dejado solos, sobre todo en el hueco entre las órbitas de Marte y Júpiter. Poco a poco, también ellos son eliminados. Sobreviven menos de uno de cada 1000 o quizá menos de unos pocos de cada millón de asteroides originales que poblaron el cinturón.

Los asteroides diminutos no son reliquias sino escombros. Se muestran con una gran variedad de tamaños, lo que apunta a que se producen en las colisiones en cadena; los asteroides se golpean y se destrozan sucesivamente. Algunos son rocas, otros metales; se sugiere que proceden de capas distintas de los cuerpos originales. Una tercera parte de los asteroides pertenece a familias con órbitas parecidas, que trazadas hacia atrás en el tiempo señalan un único punto del espacio, la localización de una colisión que los vio nacer. Puesto que las familias deberían dispersarse transcurridos de 10 a 100 millones de años, la formación de asteroides por colisión debe seguir siendo vigente.

Sin duda, también lo es la formación planetaria. Siempre que un asteroide golpea un planeta, ayuda a construirlo. Los asteroides son, por tanto, los restos de la formación planetaria y, a su vez, los toques finales del proceso.

—George Musser



PHOTO RESEARCHERS, INC. (asteroides); JEFF SCHMALTZ/NASA, MODIS RAPID RESPONSE TEAM (imagen satélite)

CLIMA

Inviernos más fríos en Europa

El Sol no radia siempre con la misma intensidad. Se suceden fases de mayor y menor actividad en ciclos de unos once años. Una manifestación visible de tales cambios la proporcionan las manchas solares: si bien en ellas la temperatura es localmente menor de lo habitual, un gran número de manchas indica un intenso campo magnético y, como consecuencia, una mayor emisión global de radiación. Las últimas mediciones del campo magnético del Sol parecen indicar que, en estos momentos, nuestro astro se halla menos activo que en los últimos 90 años.

Sami Solanki, del Instituto Max Planck para el Sistema Solar de Lindau, y colaboradores británicos han hallado una interesante correlación entre los registros meteorológicos de los últimos 350 años y la actividad magnética del Sol durante ese tiempo: el descenso de la actividad solar se acompaña de inviernos más crudos en Centroeuropa y

las Islas Británicas. De hecho, ahora mismo podríamos haber entrado en una de esas fases de inviernos gélidos, circunstancia que explicaría los rigores del invierno pasado.

El fenómeno no guarda ninguna conexión con el cambio climático. Prueba de ello es que la relación entre la actividad solar y el clima europeo sólo se hizo patente una vez sustraídos los efectos acumulados del calentamiento global. Por otro lado, los cambios parecen afectar de manera exclusiva a Centroeuropa. Es probable que una menor actividad solar dificulte la llegada de los vientos cálidos del Atlántico. Sin embargo, la razón para ello aún se desconoce.

—Spektrum der Wissenschaft

**GRAN BRETAÑA completamente cubierta de nieve el 7 de enero de 2010. Tales escenas podrían repetirse con frecuencia en los próximos años.**



## OCEANOS

### Gigantes microscópicos

En lugar de las enormes ballenas y los legendarios cefalópodos, los verdaderos mastodontes marinos podrían ser los poderosos microorganismos. Constituyen al menos la mitad y puede que hasta el 90 por ciento de la biomasa oceánica, según los datos recogidos durante una década por el proyecto Censo de la Vida Marina.

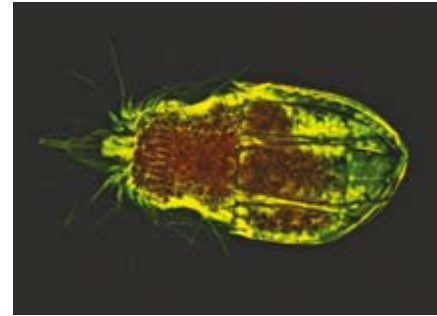
La secuenciación masiva automática del ADN sugiere que los géneros de microorganismos podrían ser hasta cien veces más numerosos de lo que se creía. El aumento del número de géneros y especies también hace que crezca la estimación del número de individuos. Se pensaba que un litro de agua de mar contenía unos 100.000

microorganismos, pero el número real superaría los mil millones.

Estas minúsculas criaturas se unen para crear algunas de las mayores masas vivas del planeta. Junto a la costa del Pacífico de Sudamérica se ha hallado un manto de suelo marino del tamaño de Grecia.

A pesar de su reducido tamaño individual, los microorganismos desempeñan una función vital en el clima del planeta. Ayudan a convertir el dióxido de carbono atmosférico en carbono utilizable y también oxigenan los sedimentos y reciclan los nutrientes en el océano. Poco se sabe, sin embargo, sobre la sensibilidad de estas criaturas a las consecuencias previstas del cambio climático, como los cambios de temperatura, de los gases disueltos en el agua y de la acidez.

—Katherine Harmon



**ABUNDANCIA OCEANICA:** Este microorganismo, *Culexiregiloricus tricchiscalida*, fue descubierto en el fondo marino, junto a la costa africana, por el proyecto Censo de la Vida Marina.

## BIOFISICA

### El secreto de la lengua de los camaleones

Cuando bajan las temperaturas, los animales de sangre fría se hacen más lentos. Ello debería ser una buena noticia para sus presas. Sin embargo, el vistoso camaleón, que puede desplegar su lengua hasta alcanzar dos veces la longitud de su cuerpo en 0,07 segundos, no pierde mucha velocidad en el despliegue de su arma.

Christopher Anderson y Stephen Deban, de la Universidad del Sur de Florida, han estudiado este fenómeno en camaleones del Yemen. Han descubierto que, si las temperaturas bajan 10 grados centígrados, los lanzamientos de la lengua se ralentizan sólo entre un 10 y un 19 por ciento. El secreto reside en el tejido de colágeno de la lengua, que se desenrolla por el impulso almacenado, no por la actividad muscular. En cambio, en las mismas condiciones de baja temperatura, el movimiento de la lengua de los ectodermos, que utilizan únicamente un sistema basado en los músculos, se reduce en un 42 por ciento.

Con todo, los camaleones no son tan rápidos en recoger la presa. La velocidad de recogida de la lengua, que depende de la contracción muscular, se reduce entre un 42 y un 63 por ciento. Teniendo en cuenta que algunos camaleones habitan en lugares donde las temperaturas descienden por debajo del punto de congelación, estos hallazgos, que se publicaron en línea el 8 de marzo en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, explican el modo en que estos reptiles mantienen su amplio nicho trófico.

—Katherine Harmon



## PSICOLOGIA

### La empatía, más femenina

Cuando nos hallamos bajo presión, luchamos o huimos. O al menos eso han dicho los científicos durante mucho tiempo. Esta respuesta, sin embargo, podría ser propia sólo de los varones. Nuevos datos demuestran que, a diferencia de los hombres, las mujeres bajo presión cuidan de los otros e inician amistades, dedicándose a entablar y mantener relaciones sociales.

En la reunión anual de 2010 de la Sociedad estadounidense de Neurología Cognitiva, en Montreal, Mara Mather, de la Universidad del Sur de California, y sus colaboradores pidieron a voluntarios de ambos sexos que colocaran su mano en agua helada, acción que dispara los niveles de cortisona, la hormona del estrés. Después, mientras se les realizaba un escáner cerebral, tenían que observar rostros enfadados o neutrales.

Los varones mostraban un menor grado de actividad que los hombres sin estrés en una región del cerebro clave para el procesamiento de los rostros; ello sugiere que su capacidad de evaluar las expresiones faciales había disminuido. En contraste, dicha región presentaba un mayor grado de actividad en las mujeres estresadas. Además, estas mujeres mostraban un mayor grado de actividad en el circuito cerebral que permite que las personas comprendan las emociones de los demás. La mayor capacidad de las mujeres estresadas para interpretar el rostro de otras personas e identificarse con ellas podría ser una causa subyacente de la tendencia a estrechar lazos en circunstancias difíciles, que podría haber evolucionado como una forma de proteger a su descendencia.

—Ingrid Wickelgren



## Los jesuitas y la geofísica

*Durante siglos, los jesuitas han desarrollado una intensa labor científica en el campo de la sismología y el magnetismo terrestre*

**E**n la dedicación de los jesuitas a la ciencia destaca su contribución a la geofísica y dentro de ella a la sismología y el magnetismo terrestre. Esta contribución puede dividirse en dos períodos. El primero, entre los siglos XVI y XVIII, se concreta en los estudios sobre terremotos y sus daños (en especial los sucedidos en las nuevas tierras de América), especulaciones sobre sus orígenes, medidas del campo magnético terrestre y elucubraciones sobre la naturaleza del mismo. El segundo período, que comienza en los albores del siglo XIX, se caracteriza por la fundación de observatorios astronómicos y geofísicos en los que destacan sus secciones de sismología y magnetismo.

En la primera época destaca la figura de Athanasius Kircher (1601-1680), profesor de matemáticas del Collegio Romano y escritor polifacético. Escribió obras sobre magnetismo, óptica y música, y propuso una concepción sobre el interior de la Tierra y su relación con terremotos y volcanes muy influyente en su época.

Fueron publicados por jesuitas varios trabajos relacionados con el gran terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de



1755; por botón de muestra los realizados en Praga por el director del observatorio, Joseph Stepling (1716-1778). Las primeras referencias a terremotos de América del Sur aparecen en la obra de José de Acosta (1540-1600), en la que se describen los efectos del terremoto de Chile de 1575, de dos terremotos en Perú (Arequipa en 1582 y Lima en 1586) y en Quito en 1586. Juan González Chapparó (1581-1651) describió detalladamente el terremoto que destruyó Santiago de Chile el 13 de mayo de 1647.

Entre los primeros estudios de jesuitas sobre el magnetismo terrestre destaca el de José de Acosta, que describe la variación de la declinación magnética a través del océano Atlántico y los puntos donde la declinación es nula, uno de ellos cerca de las islas Azores. El primer jesuita en publicar una obra completa sobre el magnetismo fue Nicolò Cabbeo (1586-1650), en 1629, en la que recoge lo que se conocía entonces sobre el tema junto con sus propias observaciones y experimentos; por primera vez, relacionó la atracción magnética con la eléctrica. En 1769, Maximilian Hell (1720-1792), director del Observatorio de Viena, realizó un conjunto de observaciones de la declinación magnética durante su viaje a Laponia, a lo largo de la costa de Noruega.

La Compañía de Jesús fue suprimida por la Santa Sede en 1773 y restaurada

en 1814. Con la apertura de nuevos colegios y universidades, la tradición científica jesuita fue establecida de nuevo. Pero la situación histórica era distinta. En este segundo período, la participación de los jesuitas en la geofísica se hizo con un esfuerzo más serio e institucional. A partir de mediados del siglo XIX, los jesuitas instalaron 77 observatorios geofísicos y astronómicos por todo el mundo: 26 en Europa, 6 en Asia, 5 en África, 1 en Australia, 21 en Norteamérica y 18 en Sudamérica y Centroamérica. La mayor parte de estos observatorios fueron creados antes de 1910; muchos cesaron sus operaciones en los años sesenta y setenta del siglo XX.

Dos observatorios fueron instalados en España: el Observatorio de Cartuja en Granada (1902), dedicado a astronomía y sismología, y el Observatorio del Ebro en Tarragona (1904), para el estudio de la relación entre la actividad solar y el campo magnético. Gran interés revisten los observatorios instalados en tierras de misión de África y Asia. En numerosos casos, fueron los primeros observatorios geofísicos instalados en aquellos países. En entre ellos destacan el Observatorio de Manila (1865), el de Zikawei en Shanghai (1872), el de Tananarive en Madagascar (1889), el de Ksara en el Líbano (1907) y el de Addis Abeba en Etiopía (1957). En Australia los jesuitas instalaron un observatorio



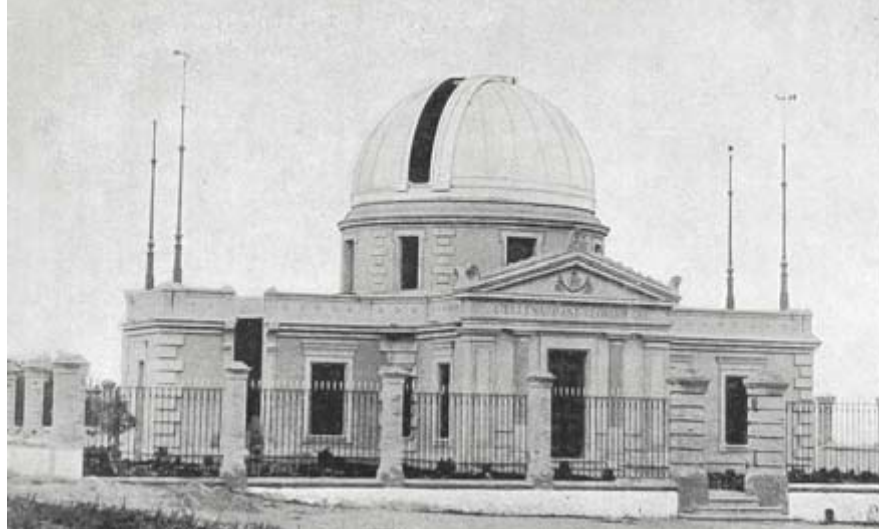
**2. JAMES B. MACELWANE (1883-1956), director del departamento de geofísica de la Universidad de Saint Louis.**



en Riverview, Nueva Gales del Sur, en 1907.

En América Central y del Sur los terremotos de gran intensidad son un acontecimiento común, con un riesgo muy alto de víctimas y daños. De ahí que los observatorios instalados allí destacaran sobre todo en sismología. La primera estación sismográfica se instaló en Puebla, México, en 1877. En 1913 se instaló una estación sismológica en La Paz, Bolivia, que se convirtió pronto en un importante centro sismológico. En Bogotá se fundó, en 1941, el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos; durante un tiempo fue uno de los mejores institutos de investigación sismológica en América del Sur.

La historia del trabajo de los jesuitas en sismología en los EE.UU. está unida a la Asociación Sismológica Jesuita (JSA, por sus siglas en inglés), inaugurada en 1909. Estaba formada por dieciséis estaciones, quince en universidades estadounidenses y una en Canadá, todas equipadas con la misma instrumentación. Fue la primera red sismológica continental. En 1925, las estaciones fueron reorganizadas con la Estación Central establecida ahora en la Universidad de Saint Louis, que asumió también la responsabilidad de analizar los datos y de localizar epicentros de terremotos, publicarlos y distribuirlos a la comunidad sismológica mundial. La Estación Central siguió ofreciendo este servicio hasta principios de los años sesenta del siglo



3. OBSERVATORIO de Cartuja, Granada.

pasado. En el presente, sólo Saint Louis y Weston funcionan como institutos de investigación sismológica.

Stephen J. Perry (1833-1889), director del Observatorio del Colegio Stonyhurst (Gran Bretaña) entre 1868 y 1889, es la figura más relevante de los jesuitas en el campo del magnetismo terrestre. Dedicó su mayor esfuerzo al estudio de la relación entre las variaciones del campo magnético terrestre y la actividad solar, tema entonces muy controvertido y por el que fue elegido miembro de la Regia Sociedad de Londres.

El sismólogo jesuita más renombrado fue sin la duda James B. Macelwane (1883-1956), de la Universidad de Saint Louis, reorganizador de la JSA. Entre sus estudios se encuentran los de la propagación de las ondas sísmicas, la constitución del interior de la Tierra, y la naturaleza de los microsismos y su relación

con las tormentas atmosféricas. En 1962, la Unión Geofísica Americana creó una medalla en su honor para el reconocimiento de la contribución a las ciencias geofísicas de un científico joven.

Entre los jesuitas geofísicos españoles destacan Luis Rodés (1881-1939) y Antonio Romaña (1900-1981), directores del Observatorio del Ebro, con sus estudios sobre la influencia de varias formas de actividad solar en los campos magnético y eléctrico de la Tierra. También M. Sánchez Navarro-Neumann (1867-1941), director del Observatorio de Cartuja; compuso el primer catálogo de terremotos moderno de España y publicó numerosos estudios sobre sismicidad y el primer libro de sismología en español.

**Agustín Udías**

*Catedrático emérito de geofísica  
Universidad Complutense de Madrid*

## El espectro del fondo cósmico de microondas

*Posibilidades para extraer más información de la radiación de fondo*

Los cosmólogos hablan muy a menudo sobre el fondo cósmico de microondas, una “fotografía” del universo a la tierna edad de 380.000 años. De hecho, se recurre tanto a la radiación de fondo que quizá parezca que debería estar agotada como fuente de información. La Agencia Espacial Europea tiene la intención de que Planck, su nuevo satélite, extraiga “toda la información esencial disponible” del patrón de la radiación. Sin embargo, los expertos que analizan las expectativas futuras afirman que la radiación de fondo posee un aspecto apenas explorado que, si

podiera observarse con la precisión adecuada, revelaría nuevos detalles sobre el universo primitivo: su espectro.

El análisis del espectro de frecuencias (colores) emitidos por el Sol y otros astros constituye un recurso habitual para determinar la composición y propiedades de los mismos. A lo largo de los últimos dos años, una serie de trabajos realizados por Rashid Sunayev, del Instituto de Astrofísica Max Planck de Garching, Jens Chluba, del Instituto Canadiense de Astrofísica Teórica y José Alberto Rubiño Martín, del Instituto de Astrofísica de Canarias, entre otros,

exploran la posibilidad de que un sucesor del satélite Planck logre recoger huellas similares en la radiación del fondo cósmico, cuyo espectro se nos presenta en la actualidad completamente anodino y genérico.

De acuerdo con el punto de vista tradicional, la radiación del fondo cósmico se compone de los fotones liberados unos 380.000 años tras la gran explosión. En un primer momento, el universo era una “sopa” muy caliente de electrones, protones y fotones que interactuaban unos con otros. A medida que el universo fue expandiéndose, su tem-

peratura disminuyó lo suficiente como para permitir que los protones se uniesen a los electrones para formar átomos de hidrógeno, un proceso conocido con el nombre de “recombinación”. Al ser eléctricamente neutros, los átomos dejaron de dispersar los fotones (los fotones interactúan sólo con partículas dotadas de carga eléctrica). Así, tras la recombinación, los fotones comenzaron a fluir libremente por el espacio. A día de hoy, dichos fotones son los que componen el fondo cósmico de microondas. El espectro de esta radiación se corresponde, con excelente aproximación, con el espectro de un cuerpo negro a la temperatura de 2,73 kelvin.

Sin embargo, la explicación anterior pasa por alto los detalles del proceso de recombinación. En primer lugar, los protones tardaron cierto tiempo en capturar a los electrones. Cuando un electrón y un protón se unen para dar lugar a un átomo de hidrógeno, liberan energía en forma de fotones (ya que la energía del átomo ligado es menor que la de un protón y un electrón libres). Pero un fotón emitido por un átomo recién creado podía impactar con otro átomo vecino y hacer que éste perdiese su electrón. Lo que finalmente provocó que se superase esta fase de antagonismo mutuo fue la expansión del universo, la cual fue agotando la energía de los fotones y estabilizó el proceso de formación de átomos. El referido horizonte temporal de 380.000 años es sólo un hito aproximado empleado por razones prácticas.

Un segundo detalle consiste en que, aunque el universo se hallaba compuesto en su mayor parte de hidrógeno, tam-

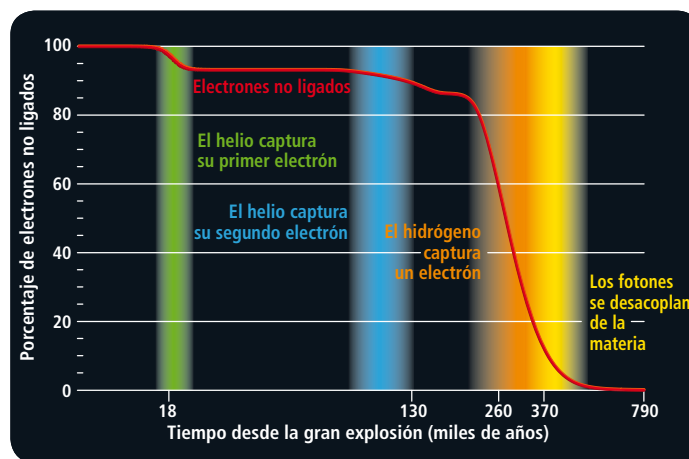
bién contenía algo de helio. Los núcleos de helio, con el doble de carga eléctrica, ejercían una mayor atracción sobre los electrones y formaron átomos antes que el hidrógeno. En promedio, capturaron su primer electrón en torno a los 18.000 años después de la gran explosión y su segundo electrón cuando el universo contaba con unos 100.000 años de edad. Al contrario de lo ocurrido en el caso del hidrógeno, el proceso de síntesis de helio transcurrió de manera mucho más rápida: una fracción de átomos de hidrógeno ya presentes en aquel tiempo interceptó gran parte de los fotones emitidos por el helio e impidió, por tan-

de una forma muy clara de determinar la abundancia primordial del helio”, afirma Sunyaev. Además, los fotones emitidos por el helio proceden de una época anterior a la emisión del fondo cósmico de microondas, por lo que nos ofrecerían indicios de procesos aún más antiguos y hasta ahora ocultos, como la desintegración de partículas exóticas.

El problema reside en que los fotones de la recombinación superan a los fotones emitidos por el helio en una proporción de uno a mil millones. Por fortuna, debido a que los átomos de helio se formaron con tanta rapidez, los fotones emitidos deberían estar concentrados en torno a bandas de frecuencias muy estrechas (las líneas espectrales correspondientes). Sunyaev y Chluba han solicitado una nueva misión que barra el espectro de frecuencias y busque un pico en el número de fotones. “Para encontrar esas líneas hay que observar una posición fija y barrer las distintas frecuencias”, afirma Rubiño Martín. En cambio, las misiones existentes, como el satélite Planck, observan en una frecuencia fija y proceden a un barrido espacial.

Durante años, las mediciones del fondo cósmico de microondas exhibieron una distribución espacial totalmente uniforme, hasta que llegó el día en que lograron medirse sus anisotropías (fluctuaciones espaciales). Hoy, las mediciones espectrales parecen no variar. Si se detectasen esas fluctuaciones espectrales, tendríamos acceso a otra avalancha de información sobre los orígenes del universo.

George Musser



Los átomos se formaron en distintas etapas a medida que el universo se enfriaba y permitía que los núcleos capturasen electrones. Durante este proceso se emitieron fotones que los observatorios del futuro quizá detecten. Ello nos ayudaría a entender el universo primitivo.

to, que dichos fotones interfiriesen en la creación de más átomos de helio.

Los fotones emitidos por el hidrógeno y el helio dejaron su impronta en la sopa primigenia. Medir el número de fotones emitidos por el helio nos permitiría saber exactamente cuánto helio sintetizó el universo, una cantidad que actualmente debe ser extrapolada (con dificultad) a partir de la cantidad de helio presente en las estrellas. “Se trataría

## Una fotografía cósmica desenfocada

Hasta ahora, las investigaciones sobre el fondo cósmico de microondas venían desechando los detalles del proceso de formación de hidrógeno y helio. Las técnicas de observación eran demasiado imprecisas para detectar sus efectos. Sin embargo, las mejoras en los instrumentos de medida obligan a los físicos teóricos a adaptarse.

Mientras duró la recombinación del hidrógeno, los fotones siguieron dispersando partículas con carga y “perdieron la huella” de las estructuras de materia a pequeña escala. De no haber tenido en cuenta este proceso, se habría deducido que dichas estructuras no se encontraban presentes durante las primeras etapas del universo y se habrían ajustado los modelos teóricos para eliminarlas. Ello hubiera modificado las estimaciones de parámetros fundamentales como la densidad de materia. “Sería triste preparar un experimento muy sensible y emplear un modelo teórico erróneo”, afirma Eric Switzer, cosmólogo de la Universidad de Chicago.

# Nuestra herencia neandertal

*Los análisis genéticos indican que hubo hibridación entre los neandertales y los humanos actuales*

**E**l cuatro por ciento del ADN de los humanos actuales que no viven en África procede de los neandertales, como consecuencia del entrecruzamiento entre los neandertales y los primeros humanos anatómicamente modernos. A esa conclusión ha llegado el equipo liderado por Svante Pääbo del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva, en Leipzig, que ha confeccionado el primer borrador del genoma neandertal. El borrador representa alrededor del 60 por ciento del total del genoma; para ello se ha empleado el ADN de tres fósiles de neandertal de 38.000 años de antigüedad hallados en la cueva de Vindija, en Croacia.

Las pruebas que indican la contribución de los neandertales al ADN de los humanos actuales han sorprendido a los científicos, quienes publicaron sus resultados en *Science* el pasado 7 de mayo. “Inicialmente pensé que podía tratarse de una casualidad estadística”, afirma Pääbo. Ese hallazgo contrasta claramente con sus estudios anteriores. En 1997, su equipo publicó la primera secuencia completa del ADN mitocondrial de los neandertales. Las mitocondrias son los orgánulos que generan la energía de la célula; poseen su propia secuencia de

**¿AMIGOS Y AMANTES? El análisis del ADN demuestra que los primeros seres humanos anatómicamente modernos se hibridaron con los neandertales. Algunos científicos opinan que también pudieron haberse entrecruzado con otros humanos arcaicos, como el *Homo erectus*.**

ADN, distinta de la del ADN del núcleo celular, mucho más larga. Su análisis concluía que los neandertales no habían contribuido a la formación del ADN mitocondrial de los humanos actuales. Pero como el ADN mitocondrial representa una minúscula proporción de la información genética de un individuo, cabía la posibilidad de que el ADN nuclear de los neandertales ofreciese una historia diferente. De hecho, la mayoría de los estudios genéticos habían llevado a los investigadores a situar el origen de los *Homo sapiens* en África. Los datos indicaban que, durante su expansión hacia otros continentes, la nueva especie sustituyó a otros humanos arcaicos sin mezclarse genéticamente con ellos. Esa explicación se conoce como modelo “fuera de África” o modelo de reemplazamiento.

Pero ahora se ha demostrado que en realidad sí se hibridaron. Cuando Pääbo y su equipo analizaron los patrones de la variación genética del ADN nuclear de los humanos actuales, identificaron 12 regiones del genoma donde las poblaciones no africanas exhibían variantes inexistentes en los africanos. Se podía suponer entonces que esas regiones procedían de los neandertales, ya que estos habitaron en Eurasia pero no en África. Al comparar esas regiones con la secuencia recientemente reconstruida de los neandertales, descubrieron 10 coincidencias. Lo que significa que 10 de las 12 variantes halladas en los humanos no africanos proceden de los neandertales. Sin embargo, esas regiones genéticas no

parecen codificar ningún rasgo relevante desde un punto de vista funcional.

Curiosamente, los investigadores no observaron un mayor parecido con los europeos actuales, como cabría esperarse dado que los neandertales sobrevivieron en Europa hasta hace tan sólo 28.000 años. La semejanza de la secuencia neandertal respecto a la de poblaciones actuales alejadas entre sí, como las de Francia, Papua Nueva Guinea y China, era equiparable. Para explicar este hecho, los investigadores sugieren que la hibridación se produjo en el Próximo Oriente hace entre 50.000 y 80.000 años, antes de que los *Homo sapiens* poblasen otras partes del Viejo Mundo y de separarse en diferentes grupos.

Algunos paleoantropólogos no se han sorprendido de estos hallazgos. Desde hacía tiempo defendían, basándose en el registro fósil, que otros humanos arcaicos, como los neandertales en Eurasia o los *Homo erectus* de Asia oriental, se habían hibridado con los primeros *Homo sapiens* y, por tanto, debían considerarse antepasados nuestros. Se trata de la hipótesis del modelo multirregional del origen de *Homo sapiens*. Estos científicos han recibido con satisfacción la noticia de la identificación de ADN neandertal en las poblaciones actuales: “Es una prueba importante de la evolución multirregional”, afirma el autor principal del modelo Milford H. Wolpoff, de la Universidad de Michigan en Ann Arbor.

Christopher B. Stringer, del Museo de Historia Natural de Londres y defen-





ador de la hipótesis “fuera de Africa”, reconoció que los datos genéticos demuestran que “muchos de los que no somos africanos poseemos una herencia neandertal”. Pero Stringer mantiene que el origen de nuestra especie se explica en su mayor parte con el modelo de reemplazamiento. Laurent Excoffier, especialista en genética de poblaciones de la Universidad de Berna, apoya esta afirmación y destaca la ausencia de hibridación cuando los humanos modernos se desplazaron a Europa: “en todos los fe-

nómenos de especiación existe un período en el que dos especies divergentes todavía pueden reproducirse entre sí”.

Además de arrojar luz sobre la interacción entre los primeros humanos, el genoma neandertal está ayudando a localizar las partes del genoma humano actual que nos diferencian del resto de las especies. Hasta el momento, el equipo de Pääbo ha identificado algunas regiones del genoma humano que contienen variaciones no observadas en los neandertales y que pudieron haber con-

tribuido a nuestra evolución. Algunas de esas regiones guardan relación con el desarrollo cognitivo, el movimiento de los espermatozoides y la fisiología de la piel. Pero queda por determinar con exactitud el efecto de estas pequeñas diferencias en la secuencia humana actual sobre la función de esas regiones del genoma. Pääbo concluye que “éste es sólo el principio de la exploración de la unicidad humana”.

Kate Wong

## Trampas magnéticas para gérmenes

*Partículas magnéticas que atrapan a los gérmenes y se extraen luego de la sangre podrían aplicarse al tratamiento de enfermedades infecciosas*

Utilizar un campo magnético para extraer —literalmente— las enfermedades del torrente sanguíneo parece un sueño de ciencia ficción. Sin embargo, podrían haber encontrado una forma de conseguirlo, al menos en relación con la septicemia, una infección de la sangre potencialmente letal que resulta en el colapso de varios órganos.

Donald E. Ingber, biólogo de la facultad de medicina de Harvard, junto con Chong Wing Yung y otros colaboradores, ha hallado una forma de filtrar los agentes patógenos de la sangre de pacientes con septicemia mediante partículas magnéticas de sólo algunas micras de tamaño. En el modelo que han desarrollado, las partículas, cubiertas por un anticuerpo que se une a los hongos o a las bacterias causantes de la septicemia, se mezclan con la sangre extraída

de un paciente. Una vez se han unido a los agentes patógenos, los imanes se trasladan, mediante un campo magnético, a una solución salina que fluye junto a la sangre y los arrastra. En pruebas realizadas con muestras de entre diez y veinte mililitros de sangre, se eliminó un 80 por ciento de los patógenos.

Una de las claves del éxito del filtrado corresponde al tamaño de las partículas, cuyo diámetro es un octavo del de los glóbulos rojos. Son lo suficientemente pequeñas como para no alterar el flujo de la solución salina; la aparición de turbulencias haría que la solución se mezclase con la sangre y dificultaría la separación de los gérmenes.

Ingber piensa que una versión más avanzada de su sistema, que describió en el número del 7 de mayo de *Lab on a Chip*, resolvería uno de los problemas que afrontan las unidades de cuidados intensivos, que deben determinar si un caso de septicemia está causado por una bacteria o un hongo. Puesto que los antifúngicos son tóxicos, suele retrasarse su uso hasta que se diagnostica el tipo de patógeno. Este diagnóstico, sin embargo, lleva su tiempo, lo cual podría poner en peligro a un paciente cuyo estado se va deteriorando. Ingber espera poder incorporar distintos tipos de proteínas adhesivas en las partículas, para extraer diferentes tipos de microorganismos a la vez, sin necesidad de un diagnóstico.

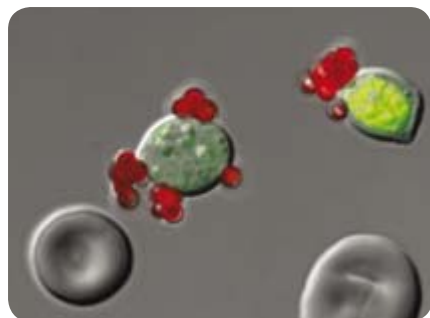
También cree que no es necesario eliminar todos los gérmenes. “Lo que intentamos es establecer un punto en el

que se rompa el equilibrio en favor del paciente”, afirma, refiriéndose a la cantidad de patógenos en el organismo. Según su teoría, bastaría con reducir el número de bacterias u hongos para que los antibióticos o antifúngicos operasen con mayor eficacia.

“Es una teoría novedosa y muy elegante”, comenta Tonse Raju, neonatólogo del Instituto Nacional Eunice Kennedy Shriver de Sanidad Infantil y Desarrollo Humano. Sin embargo, señala, la teoría entraña un problema notable: hasta la fecha, no se ha demostrado que la disminución del número de patógenos mejore la eficiencia de los medicamentos. Además, gran parte del daño que causa la septicemia proviene de la respuesta inflamatoria del propio cuerpo y no de los gérmenes. Otro problema, señala Raju, consiste en que algunos hongos y bacterias se esconden en bolsas de pus o en zonas con un nivel muy bajo de suministro sanguíneo, como la cavidad peritoneal, y, por tanto, eludirían la purificación realizada en la sangre.

Aun así, Ingber no se desanima. Ha iniciado ensayos preliminares en conejos, dado que su tamaño es similar al de los niños prematuros, que sufren una alta incidencia de sepsis. Ingber reconoce que hay obstáculos en su camino, pero espera que, con nuevos estudios, la eliminación magnética de enfermedades deje de ser una fantasía científica.

Kate Wilcox



**ADHESION:** Las pequeñas partículas magnéticas (rojo) se hallan cubiertas de anticuerpos, lo cual les permite adherirse a los hongos (verde). También pueden verse glóbulos rojos.