

# INVESTIGACION Y CIENCIA



Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**

## EVOLUCION

Base epigenética de la biodiversidad

## FISICA

Manipulación de átomos mediante fotones

## MEDICINA

Fisiología de la adicción al tabaco

## ENERGIA

¿Compensa reciclar el combustible nuclear?

# NACIMIENTO CAOTICO DE LOS PLANETAS

De colisiones aleatorias surgen nuevos sistemas solares

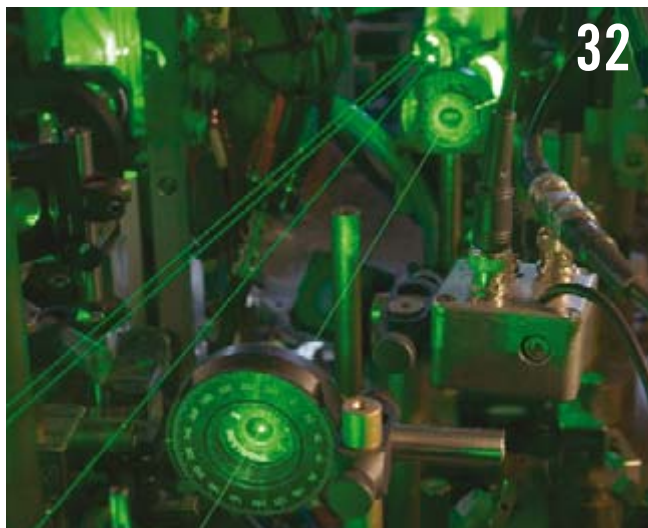


24



Genes parecidos, seres muy diferentes. Pero en el ADN no sólo hay genes.

32



Los frentes de fase de la luz no siempre son planos.

54



La "basura" citoplasmática que engullen los autofagosomas se transporta luego hasta orgánulos digestivos para su reciclaje.

## ARTICULOS

### ASTRONOMIA

#### 14 La génesis de los planetas

*Douglas N. C. Lin*

Considerada antaño la formación planetaria un proceso firmemente determinado hacia una conclusión prevista, se comprueba ahora su auténtico carácter caótico.

### GENETICA

#### 24 La regulación de la evolución

*Sean B. Carroll, Benjamin Prud'homme y Nicolas Gompel*

Ciertos interruptores inscritos en el ADN determinan cuándo y dónde se activan los genes. Gracias a ellos, los genomas producen una amplia diversidad de formas animales a partir de dotaciones génicas muy parecidas.

### FISICA

#### 32 Luz con momento angular orbital

*Sonja Franke-Arnold y Aidan S. Arnold*

Los fotones tienen un tipo de momento angular capaz de guiar, atrapar y rotar átomos y partículas ultrafríos.

### COMUNICACION

#### 48 Ciencia 2.0

*M. Mitchell Waldrop*

Se debate si colgar en la Red resultados experimentales provisionales, accesibles a todos, ofrece una potente herramienta de comunicación científica o supone un gran riesgo.

### BIOLOGIA

#### 54 Autofagia

*Vojo Deretic y Daniel J. Klionsky*

Proteínas erosionadas, orgánulos averiados y microorganismos invasores, todos son absorbidos por diminutas "aspiradoras" celulares.

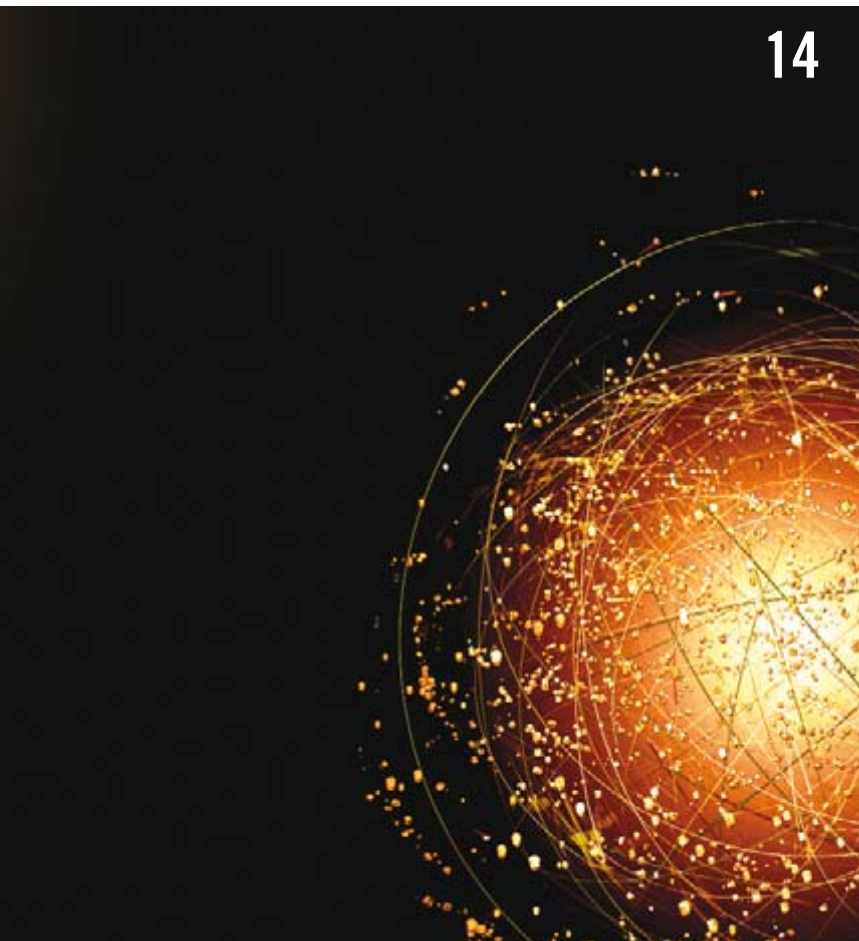
### SALUD PUBLICA

#### 62 Causalidad y epidemiología

*Alfredo Morabia y Miquel Porta*

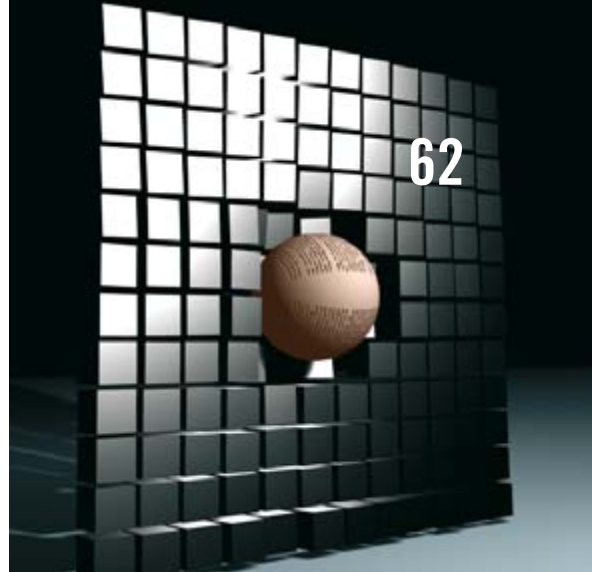
La combinación del pensamiento poblacional con la comparación de grupos de personas permite extraer inferencias causales cuando no pueden deducirse por otra vía.

14



La formación de los sistemas planetarios no es un proceso determinista.

62



Hacia las causas por la vía de las estadísticas poblacionales.

72



Pocos cigarrillos bastan para que un adolescente se enganche a la nicotina.

## MEDICINA

### 72 Adicción al tabaco

*Joseph R. DiFranza*

Nuevos hallazgos revelan que la nicotina crea adicción desde muy pronto. Los primeros cigarrillos provocan una alteración cerebral que estimula el deseo compulsivo de fumar.

## POLITICA NUCLEAR

### 78 El reciclado nuclear

*Frank N. von Hippel*

En EE.UU. están en marcha planes para reutilizar el combustible agotado de los reactores, pero sus ventajas son nimias comparadas con los peligros.

## SEGURIDAD

### 84 Microchips contra la falsificación

*Tim Hornyak*

Las tarjetas de identificación por radiofrecuencia se aplican a la rotulación de toda clase de artículos. En versión miniaturizada, servirían también para impedir la falsificación.

## SECCIONES

### 3 CARTAS AL DIRECTOR

#### 4 HACE...

50, 100 y 150 años.

#### 5 PUESTA AL DIA

#### 6 APUNTES

#### 8 CIENCIA Y SOCIEDAD

Transistores moleculares...

Cuando falla el riñón...

El plegamiento de las proteínas.

#### 42 DE CERCA

Piratas del aire,

por *Josep-Maria Gili* y *Anna Gili*

#### 44 PERFILES

Saul Perlmutter: fuerzas oscuras,

por *David Appell*

#### 46 DESARROLLO SOSTENIBLE

La revolución verde africana,

por *Jeffrey D. Sachs*

#### 47 CIENCIA Y GASTRONOMIA

El gazpacho,

por *Pere Castells*

#### 88 CURIOSIDADES DE LA FISICA

El arco, maravilla técnica,

por *J. M. Courty* y *E. Kierlik*

#### 90 JUEGOS MATEMATICOS

Piensa un número,

por *Juan M.R. Parrondo*

#### 92 IDEAS APLICADAS

Azoteas verdes,

por *Mark Fischetti*

#### 94 LIBROS

Realismo científico.

Física del universo

# INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.<sup>a</sup> Valderas Gallardo  
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella  
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez  
Laia Torres Casas

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 John Rennie  
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina  
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting  
CHIEF NEWS EDITOR Philip M. Yam  
SENIOR WRITER Gary Stix  
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley, Peter Brown, Graham  
P. Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, George Musser  
y Christine Soares  
CONTRIBUTING EDITORS W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway,  
Michelle Press, Michael Shermer, Sarah Simpson  
ART DIRECTOR Edward Bell  
PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

CHAIRMAN Brian Napack  
PRESIDENT Steven Yee  
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL  
Dean Sanderson  
VICE PRESIDENT Frances Newburg  
VICE PRESIDENT, FINANCE, AND GENERAL MANAGER 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

### Madrid:

MMCATALAN PUBLICIDAD  
M. Mercedes Catalán Rojas  
Valle del silencio, 28 4.º J  
28039 Madrid  
Tel. 915 759 278 – Fax 918 276 474  
Móvil 649 933 834

### Cataluña:

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:

M.<sup>a</sup> Rosa Zapatero Osorio: *La génesis de los planetas y Perfiles*; Juan Manuel González Mañas: *La regulación de la evolución*; Ramón Pascual: *Luz con momento angular orbital*; Luis Bou: *Ciencia 2.0, Puesta al día y Apuntes*; Juan Manuel González Mañas: *Autofagia*; J. Vilardell: *El reciclado nuclear, Microchips contra la falsificación, Hace... Curiosidades de la física e Ideas aplicadas*; Bruno Moreno: *Apuntes*; Anna Ferran: *Ciencia y sociedad*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*



Portada: Don Dixon

## SUSCRIPCIONES

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

### Precios de suscripción:

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

### Ejemplares sueltos:

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

Difusión  
controlada

Copyright © 2008 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2008 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 Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España



## ¿Despedimos el hielo?

“Dinámica de los casquetes glaciales”, de Robin E. Bell, en el número de abril, describe los efectos del hundimiento total de los casquetes de hielo de Groenlandia y la Antártica, pero actualmente no hay prueba alguna de que vayan a desaparecer del todo. Además, el modelo de Bell no tiene en cuenta el efecto de reacción que se produciría si sobre esas masas de tierra no gravitase hielo, que compensaría parte de la elevación del nivel del mar. Tampoco considera la posibilidad de que asciendan grandes cantidades de vapor de agua desde el océano hacia la atmósfera.

**Raphael Ketani**  
Sunnyside, N.Y.

**BELL RESPONDE:** *Los casquetes de hielo han ido y han vuelto durante toda la historia de nuestro planeta. La reciente noticia del derrumbe de una gran parte de la plataforma glacial Wilkins da testimonio de esas oscilaciones. Las consecuencias de los cambios de los casquetes glaciales son globales y complejas. El terreno que subyace al casquete desaparecido reaccionará (en los países nórdicos y el norte de Canadá se eleva casi un centímetro al año al liberarse del peso de un casquete de hielo que existió hace más de 15.000 años), y el nivel del mar subirá en distinta medida según la temperatura del agua y su origen. Dejando estas complicaciones aparte, probablemente seguiremos viendo subir el nivel del mar a causa de la fusión de los casquetes polares. Es difícil trasladar el hielo a escala continental a un marco en el que podamos aplicar nuestra propia expe-*

*riencia. La comunidad científica no vaticina la desaparición total de los casquetes de hielo polares, pero las variaciones glaciales van a merecer una creciente atención en los próximos decenios.*

## ¿Desechamos las cuerdas?

El recuadro “Cinco objetivos para el LHC”, incluido en el artículo “Revolución en la física de partículas”, de Chris Quigg [Informe Especial: El futuro de la física], en el número de abril, no hace mención alguna que relacione la teoría de cuerdas con los objetivos del próximo Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. ¿Hay algún experimento en proyecto para el LHC que pudiera apoyar o desmentir las pretensiones, expectativas o predicciones de esa teoría?

**Geoff Noakes**  
San Francisco

**QUIGG RESPONDE:** *La teoría de cuerdas no está en situación de hacer predicciones específicas para el LHC, pero las observaciones que aporte el LHC sí podrían dar alas a la teoría de cuerdas. El descubrimiento de la supersimetría alentaría esperanzas de que la incorporación de la gravedad contemplada en la teoría de cuerdas va por buen camino. Indicios de que hay más dimensiones apoyarían asimismo ciertos conceptos de la teoría de cuerdas. Por otro lado, la observación de algunos tipos de interacciones fuertes nuevas podría desanimar a quienes piensan que las cuerdas pronto tendrán relevancia en nuestros experimentos. Como los teóricos de las cuerdas todavía no son capaces de comparar un número medido con alguno predicho, gran parte del efecto tendrá la forma de diálogo entre un experimento real y los retazos de cosmovisión de la teoría de cuerdas. Aun antes de haber empezado a funcionar, el LHC ha llevado a destacados teóricos de las cuerdas a dejar aparte, de momento, su teoría y a concentrarse en problemas teóricos que prometen un diálogo más inmediato con los experimentos del LHC.*

## Sol y sombra

En “El color de las plantas extraterrestres”, del número de junio, Nancy Y. Kiang explica que las plantas de un planeta que gire alrededor de una estrella madura, de tipo M, quizá serían negras, al haberse adaptado sus pigmentos fotosintéticos al espectro de la luz de un sol

así. Pero la zona habitable de un sistema solar de ese tipo habría de estar tan cerca de la estrella, que muy posiblemente se producirían acoplamientos de marea, es decir, uno de los hemisferios miraría siempre a la estrella. Con probabilidad, las plantas de la superficie desarrollarían pigmentos fotosensibles sólo en la cara iluminada. La cara oscura sería por lo normal gris o parda, más clara que la otra. Que se descubriesen pigmentos vegetales de otro planeta dependería, pues, del ángulo entre la línea de visión de los telescopios espaciales y la línea que uniese ese mundo con su estrella.

**James W. Scott**  
Wickoff, Nueva Jersey.

**RESPUESTA DE KIANG:** *Scott expone ideas excelentes. Hasta en la Tierra varía la pigmentación con la latitud, pero no tanto porque dependa de los cambios espectrales de la radiación como por que la forma de las plantas depende de la altitud del Sol en el cielo. La forma cónica de las coníferas a altas latitudes, por ejemplo, viene mejor para interceptar la luz cuando los ángulos de elevación del Sol son pequeños. En un planeta con acoplamiento de marea que gire alrededor de una estrella de tipo M no sólo veríamos adaptaciones a los ángulos de altitud casi fijos de la estrella, sino, seguramente, un gradiente con respecto a la longitud geográfica. Los primeros telescopios espaciales que obtengan espectros planetarios quizá no puedan distinguir esos gradientes, pero de las variaciones que se observasen entre las caras de los planetas se podría sacar más información sobre su superficie.*

## Errata corrige

En la revista de junio 2008, núm. 381, en la sección sobre “Detección de armas” [Ideas aplicadas], aparecen datos incorrectos sobre el aparato de barrido (“escaneo”) por retrodifusión. El tiempo de barrido es de 8 segundos, la frecuencia del haz 1212 GHz y la energía del haz 50 keV.

El artículo “El color de las plantas extraterrestres” afirma erróneamente que las algas pardas contienen ficobilinas; deben su color a ciertos carotenoides. En el recuadro “Filtración de la luz estelar”, en las unidades del eje de ordenadas debería leerse “fotones por metro cuadrado por segundo y por micra”.

Recopilación de Daniel C. Schlenoff

## ...cincuenta años

**Secretos.** «Un informe de la Cámara de Representantes concluía en que ‘el Gobierno Federal ha sumergido a los científicos americanos en una ciénaga de secretismo’ y que la clasificación de la información científica fue un factor importante para ‘que el país perdiera la primera vuelta de la carrera al espacio’. Un problema crucial fue la persistente tendencia a la sobreclasificación de documentos. Hay testigos que esto lo achacan en parte ‘a la neurosis de nuestro tiempo’ y en parte al hecho de que ‘no hay sanción por estampillar de secreto lo que no debería mantenerse secreto’. Señala el informe que en la actualidad más de un millón de personas tienen autoridad para clasificar información.»

**Hormigón pretensado.** «La compresión aumenta la resistencia del hormigón; la tracción aumenta la del acero. Esas propiedades opuestas se combinan en un material de construcción más resistente que el hormigón armado y más barato que el acero solo. Nos referimos al hormigón pretensado. Desarrollado durante los últimos años, ya se ha reconocido como uno de los grandes adelantos de la construcción del siglo xx. Con él se han construido millares de edificios y puentes; la industria del hormigón pretensado alcanza en EE.UU. cerca de los mil millones de dólares. No parece excesivo afirmar que la construcción está pasando de la era del acero a la era del hormigón pretensado.»

## ...cien años

**El vuelo de Curtiss.** «Casi una veintena de miembros del Club Aéreo de América y otras personas interesadas en la aviación viajaron el Cuatro de Julio a Hammondsport (Nueva York) para presenciar el vuelo del tercer aeroplano de la Asociación de Experimentos Aéreos, el ‘June Bug’, para hacerse con el trofeo SCIENTIFIC AMERICAN. La distancia a cubrir era de un kilómetro en línea recta, la exigida para la primera prueba. Como el señor Curtiss era el primer aviador en presentarse con un aeroplano en funcionamiento y solicitar una prueba, según las reglas, si realizaba el vuelo propuesto, él sería el primer ganador. El segundo intento se realizó a las siete de la tarde. Esta vez la máquina se elevó rápidamente; ganó velocidad hasta una altura



1. Vuelo ganador del aeroplano Curtiss para el trofeo SCIENTIFIC AMERICAN, el 4 de julio de 1908

de unos seis metros. Al acercarse al poste final, descendió hasta unos cuatro metros y medio; luego siguió adelante, con un amplio viraje a la izquierda, y se posó indemne en un terreno irregular. La distancia recorrida superó el kilómetro y medio.»

## ...ciento cincuenta años

**Reivindicación del telégrafo.** «Es bien sabido que los ingleses reclaman la invención del telégrafo magnético para su compatriota, el profesor Wheatstone. La iniciativa del telégrafo transatlántico ha hecho de la paternidad del invento un asunto del que se habla mucho en Europa. El parisiense *Moniteur* dice: ‘Sin duda no corresponde al señor Morse el descubrimiento de los principios en los que se fundamenta el telégrafo eléctrico, pero él fue quien trasladó el descubrimiento desde el terreno de la ciencia especulativa al de las aplicaciones prácticas.’»



2. Trofeo de aeronáutica SCIENTIFIC AMERICAN, 1908

**Trampa-sapo.** «Un corresponsal en Illinois nos da cuenta de una nueva trampa para insectos que sin duda tendrá mucho éxito. Dice ‘Hágase con un sapo de buen tamaño, como los que San Patricio expulsó de Irlanda (buena suerte para él), que se domestican fácilmente; practique luego un orificio en el fondo de una pequeña caja, de tal modo que el sapo pueda asomar la cabeza. Viértale un poco de melaza en el lomo e introdúzcalo en la caja. Su lengua mide casi ocho centímetros; atrapa todo insecto que se ponga a su alcance.’ El inventor lo cree adecuado sobre todo para atrapar pulgas, pero si nos encontráramos con una pulga en la cama, desde luego preferiríamos su compañía a la de una caja con un sapo.»

¿Qué ha sido de ...?

Recopilación de Philip Yam

## Misterio en la telemetría

Las naves *Pioneer 10* y *11*, en su rauda fuga del sistema solar, están perdiendo velocidad de forma misteriosa, como si una fuerza atractiva adicional desde el Sol quisiera retenerlas. Las explicaciones ofrecidas van desde posibles escapes de gases y errores de observación hasta modificaciones en las teorías gravitatorias.

John Anderson y su grupo, del laboratorio de propulsión a chorro (JPL), que contribuyeron a descubrir la "anomalía Pioneer", han apreciado variaciones de velocidad similares e inesperadas en cuatro naves que han sobrevolado la Tierra en su periplo: la sonda Galileo, la misión NEAR (de aproximación a asteroides cercanos), y las naves *Cassini* y *Rosetta*. Sus velocidades experimentaron incrementos o decrementos de hasta una parte por millón consiguientes al vuelo sobre nuestro planeta.

La excepción fue la nave *Messenger*, que se aproximó a la Tierra desde una latitud de 31 grados norte y la abandonó desde una latitud de 32 grados sur, a distancias casi iguales del ecuador. En los vuelos en los que se han observado anomalías, en cambio, los ángulos de aproximación y de salida fueron netamente desiguales. En la misión NEAR, el ángulo de ingreso fue de unos 20 grados sur y el de egreso de unos 72 grados sur. (Las mediciones indicaban que se alejaba a razón de unos 13 milímetros por segundo más de lo esperado.) A mayor asimetría, más acusado el efecto sobre la velocidad.

Esas anomalías podrían deberse a variaciones en los campos magnético o gravitatorio de la Tierra, pero los satélites que orbitan en torno a la Tierra no parecen sufrir perturbaciones. Por otra parte, aunque hubiera fugas de gases que pudieran frenar la nave, no explicarían la aparente aceleración de algunas sondas. Hay una característica que parece vincular las anomalías en los sobrevuelos y en las naves *Pioneer*: en todos los casos, las naves siguen trayectorias hiperbólicas, es decir, tienen velocidad suficiente para escapar del centro de atracción (el Sol para las naves *Pioneer*, la Tierra para las demás). Tal vez haya en las trayectorias hiperbólicas algo que todavía no se ha tenido en cuenta.

—Charles Q. Choi

La sonda *Galileo*, que llegó a Júpiter en 1995, experimentó un cambio de velocidad inexplicable cuando sobrevoló la Tierra.

## Agujeros negros en fibra óptica

En su investigación sobre los agujeros negros, los físicos buscan analogías que sean viables en el laboratorio [véase "Agujeros negros acústicos", por Renaud Parentani; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2002]. Tal vez las fibras ópticas lo permitan. La clave para crear horizontes de sucesos artificiales consiste en lograr que un medio de tipo fluido avance más rápidamente de lo que se propagan las ondas a su través. Los investigadores enviaron por una fibra óptica un impulso de luz roja, que modificó el índice de refracción de la fibra; lanzaron después un haz de luz infrarroja, calibrado para que alcanzara el impulso. El haz infrarrojo acusó un desplazamiento hacia el azul, lo que indicaba que sus frentes de onda se habían acumulado en la cola del impulso. Técnicamente, el corrimiento al azul constituye una característica del horizonte de sucesos de un agujero negro blanco (un agujero negro vuelto del revés). Aun así, el frente de ataque del impulso constituiría un remedo del horizonte de sucesos de un agujero negro, según exponía el equipo investigador en *Science* del 7 de marzo.

—J. R. Minkel

## Quien tuvo... ¿retiene?

Los cabellos crecen, caen y pueden tardar mucho tiempo en volver a salir, demasiado para muchas personas a partir de cierta edad [véase "Crecimiento y caída del pelo", por Ricki L. Rusting; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 2001]. El equipo de Elaine Fuchs, de la Universidad Rockefeller, ha demostrado que el bloqueo de la proteína NFATc1 acorta el período de reposo de las células madre de los folículos pilosos. En el estudio de Fuchs, el pelo creció normalmente. Ello



sugiere que la fase de reposo, considerada antaño una forma de protección contra mutaciones o la pérdida de células, no es tan necesaria como se pensaba. El trabajo, publicado en *Cell* de 25 de enero, contribuye a explicar la actividad de las células madre; podría desembocar en nuevos tratamientos contra la alopecia.

## Exito en la freza

En acuicultura se lleva tiempo intentando, sin conseguirlo, que el atún rojo se reproduzca en cautividad. Con ello se pretende salvar esta especie marina en peligro de extinción por sobrepesca [véase "El atún rojo en peligro", por Richard Ellis; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, mayo de 2008]. Al cabo de tres años de esfuerzos, la compañía australiana Clean Seas Tuna Limited hizo saber en marzo que había inducido la freza en atunes rojos del hemisferio sur. Las larvas de este atún crecen a razón de un



milímetro diario: habrán de pasar años antes de que los juveniles alcancen un tamaño comercial. Es de temer, pues, que los atunes de piscifactoría no lleguen a tiempo para salvar a algunas poblaciones de atún rojo.

## QUIMICA

### ¿Por qué en las combustiones la masa del dióxido de carbono es mayor que la del combustible?

El carbono de los compuestos que integran los combustibles se encuentra, en general, reducido: los átomos de carbono están químicamente enlazados a otros átomos de carbono o a átomos de hidrógeno. En la combustión, se rompen esos enlaces y se forman otros nuevos con átomos de oxígeno (tomado del aire, casi siempre), generándose así  $\text{CO}_2$ . Dado que la masa atómica del oxígeno es mayor que la del carbono y mucho mayor que la del hidrógeno, los productos de la combustión tienen una masa mayor que la del combustible.

Tomemos, por ejemplo, la gasolina. El octano, uno de sus componentes principales, es una molécula integrada por ocho átomos de carbono y 18 átomos de hidrógenos. La masa de un mol ( $6,02 \times 10^{23}$  unidades) de octano es igual a la suma de las masas de los ocho moles de átomos de carbono y de los 18 moles de hidrógeno

que lo componen. La masa de un mol de carbono es de 12 gramos; la masa de un mol de hidrógeno es 1 gramo. Por consiguiente, la masa de un mol de octano es  $8 \times 12 + 18 \times 1 = 114$  gramos.

La masa de un mol de  $\text{CO}_2$  es de 44 gramos ( $1 \times 12$  gramos por mol de carbono +  $2 \times 16$  gramos por mol de oxígeno). En la combustión completa del octano cada uno de sus ocho átomos de carbono se integra en una molécula de  $\text{CO}_2$ , generando ocho moléculas de dióxido de carbono por cada molécula de octano que se quema, o sea, ocho moles de  $\text{CO}_2$  por cada mol de octano. La combustión de un mol de octano producirá, por lo tanto,  $352 (8 \times 44)$  gramos de dióxido de carbono.

Así pues, la razón entre la masa de  $\text{CO}_2$  producido y la masa del octano en una combustión completa es de 352 a 114, o sea, algo más de 3 a 1. En las combustiones reales las razones serán diferentes, porque la gasolina no es octano puro, ni la combustión es siempre completa.

—Susan Trumbore

Universidad de California en Irvine



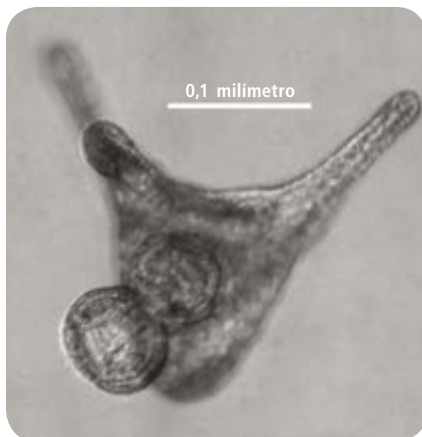
## ADAPTACION

### Partir para defenderse

Que la mejor defensa para un animal marino ante un enemigo consista en partir no siempre significa que huya, sino que se parta en dos. Es el caso de *Dendroaster excentricus*, un equinodermo emparentado con las estrellas de mar que debe su nombre vulgar en inglés, "dólar de arena", a su forma de disco. Cuando sus larvas detectan mucosidades procedentes de depredadores cercanos se clonan: se reproducen asexualmente en 24 horas. Aunque la clonación es lenta

en comparación con el ataque de un depredador, si las larvas se dividen a tiempo aumentará la probabilidad de que no sean detectadas. El tamaño de los clones es sólo dos tercios del tamaño típico del original. Muchos animales se clonan, pero se vinculaba el proceso al crecimiento y a la reproducción, nunca a la necesidad de defenderse contra depredadores carnívoros. La clonación sería una respuesta a los depredadores cuando un tamaño más pequeño confiere una ventaja en lo que se refiere a la seguridad.

—Charles Q. Choi



Dos mejor que uno: Una larva de *Dendroaster excentricus* comienza a clonarse.

## CAMBIO CLIMATICO

### Bajarles los humos a las chimeneas

Se lleva mucho tiempo buscando una sustancia que pueda absorber el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de las chimeneas antes de que este gas de efecto invernadero se disipe en la atmósfera. Las esponjas de  $\text{CO}_2$  existentes presentan varios inconvenientes: demasiado caras, su uso consume demasiada energía, no absorben suficiente dióxido de carbono o son inestables a largo plazo. Sin embargo, el absorbente sólido que acaban de desarrollar Christopher Jones y sus colaboradores, del Instituto de Tecnología de Georgia, es a la vez potente y duradero.

El material contiene unos compuestos ricos en nitrógeno, las aminas, sobre un sustrato poroso de sílice. Las aminas son bases que neutralizan el gas ácido de dióxido de carbono. Al calentarse, la sustancia libera el  $\text{CO}_2$  atrapado, para su almacenamiento. Este material de bajo coste tiene una estructura hiperramificada, lo cual ayuda a que contenga un gran número de aminas, explica Jones, y los fuertes enlaces químicos que lo forman permiten que se reutilice frecuentemente.

—Charles Q. Choi



## GENÉTICA

### Mutantes procedentes del aire

Ratones que fueron mantenidos a sotavento de dos acerías y de una carretera principal desarrollaron en su esperma un 60 por ciento más de mutaciones que sus hermanos que respiraban aire muy filtrado. Las células espermáticas germinales sufrieron lesiones tras sólo tres sema-

nas de exposición, posiblemente a causa de un estrés oxidativo desencadenado por las partículas en suspensión. Dado que el esperma conservaba su funcionalidad, las mutaciones podrían haberse transferido a la descendencia.

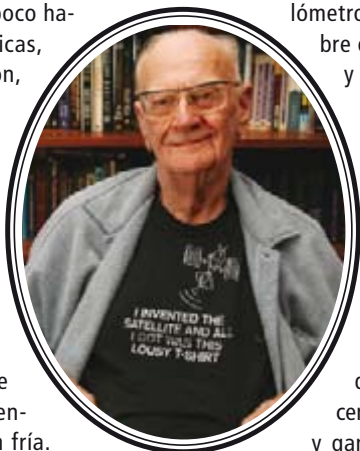
—Philip Yam

## IN MEMORIAM

### Sir Arthur C. Clarke, 1917-2008

Vestía un pijama y un albornoz y apoyaba un hinchado pie descalzo sobre un escabel. Ese era el aspecto del prestigioso escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke la única vez que, junto con otros redactores de *Scientific American*, me encontré con él. Era octubre de 1999 y había llegado a Nueva York, en un viaje muy poco habitual y por razones médicas, desde su país de adopción, Sri Lanka.

Clarke nos había invitado a su habitación del histórico Hotel Chelsea, donde, a mediados de la década de los sesenta, había trabajado en su obra más conocida: *2001: Una odisea del espacio*. Allí nos reprochó que no nos tomásemos suficientemente en serio la fusión fría. Creía que aún podría producirse un descubrimiento revolucionario gracias a los experimentos de los escasos defensores de la idea que quedaban en ese momento. El optimismo de Clarke sobre las posibili-



dades de la técnica futura se manifiesta en sus tres famosas "leyes", una de las cuales afirma que una tecnología suficientemente avanzada es indistinguible de la magia.

En 1945 escribió en la revista *Wireless World* que un satélite que girase en una órbita ecuatorial con un radio de 42.000 ki-

lómetros permanecería estable sobre el mismo punto de la Tierra y que tres de ellos podrían transmitir señales de radio a cualquier lugar del mundo. La idea no era de Clark, pero fue él quien la popularizó. En 1964 se lanzaría el primer satélite geoestacionario de comunicaciones.

Clarke, que sufría del síndrome pospolio, escribió decenas de libros, de ficción o no, y ganó numerosos premios. Un asteroide, una órbita, una especie de dinosaurio y varios premios llevan su nombre. Muchos científicos, astronautas y escritores le atribuyen la inspiración de comenzar sus respectivas carreras.

—Graham P. Collins

## FISICA

### Nubes de entrelazamiento

Un grupo del Instituto de Tecnología de California ha combinado el entrelazamiento cuántico (correlaciones instantáneas entre partículas distantes) con la técnica de detener abruptamente la luz. Con un divisor de haz convirtieron un fotón en un par entrelazado y almacenaron esos dos estados a una distancia de un milímetro, dentro de una nube de átomos

de cesio enfriados a una temperatura cercana al cero absoluto. Cuando volvieron a combinar el par para formar luz, el 20 por ciento del entrelazamiento original se había conservado, un porcentaje mayor que en experimentos anteriores.

Esta demostración abre el camino para enlazar dos nubes atómicas distintas y utilizar el teletransporte cuántico de una partícula desde una nube a la otra, en una especie de red de telecomunicaciones cuántica.

—J. R. Minkel

## DATOS



### Arca para el fin del mundo

Construida en el permafrost de la isla noruega de Spitsbergen, en el Círculo Polar Ártico, la Cámara Mundial de Semillas Svalbard se inauguró oficialmente el 26 de febrero. Esta instalación de alta seguridad, costeada por el gobierno noruego, se construyó con el objetivo de albergar una biblioteca de semillas de todos los cultivos destinados a la alimentación, procedentes de todos los países, como salvaguardia contra guerras, pobreza y desastres medioambientales, incluido el cambio climático. La cámara está situada a una altitud de 130 metros; por tanto, aun cuando se derritiesen los casquetes polares, la cámara no se inundaría. Las muestras, almacenadas en papel de aluminio de cuatro capas, contienen centenares de semillas.

Número actual de muestras de semillas almacenadas: 268.000

Peso en toneladas: 10

Número máximo de muestras: 4,5 millones

Número de semillas: 2250 millones

Temperatura de almacenamiento (grados centígrados): -18

Número de años que se mantendrán congeladas las semillas si se interrumpe el suministro eléctrico: 200

Número de puertas blindadas y herméticas que protegen las semillas: 4

Tiempo estimado de supervivencia de las semillas, en años:

Cebada: 2000

Trigo: 1700

Sorgo: 20.000

FUENTES: Ministerio de Agricultura y Alimentación, Noruega

# Transistores moleculares

*En el límite de la miniaturización electrónica, aprovechan su condición cuántica*

El desarrollo técnico de las últimas décadas ha venido marcado por los avances en el perfeccionamiento de componentes electrónicos, sobre todo los ligados al diseño y fabricación de microprocesadores, dispositivos básicos de cualquier ordenador. Aquí es donde encontramos al transistor, sin lugar a dudas el componente principal de la electrónica moderna.

Así ha sido desde que en 1947 los físicos William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain inventasen un transistor rudimentario, de varios centímetros de largo, que venía a sustituir a las válvulas de filamento, que todo el mundo conocía por llevarlas los aparatos de radios y que luego todavía utilizarían los televisores. Muchos lectores las recordarán: eran una especie de bombillas alargadas, de interior algo más com-

plejo que el de las que usamos para alumbrarnos.

Las válvulas cumplían una doble misión: controlaban el paso de la corriente eléctrica y la amplificaban. Por eso resultaban indispensables en la transmisión de señales eléctricas a largas distancias. Sin embargo, las válvulas acarreaban muchos problemas. Consumían gran cantidad de energía, requerían vacío para que el filamento no se oxidase y se rompían fácilmente. El transistor permitió controlar el paso de corriente de una manera mucho más sencilla y además solucionó todos los problemas mencionados.

Pero la explosión de técnicas a que dio lugar la aparición del transistor vendría ligada a la capacidad de físicos e ingenieros de miniaturizarlo y a la aparición del circuito integrado, donde los cables de cobre fueron reemplazados por

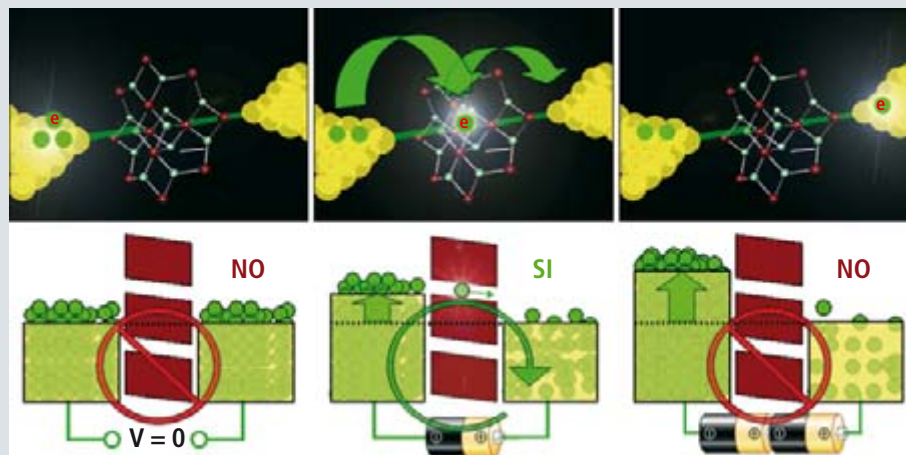
líneas de corriente grabadas en la superficie de un sustrato semiconductor (silicio). Al principio, los transistores medían alrededor de un centímetro. En 1971, el microprocesador 4004 de Intel albergaba ya alrededor de 2000 transistores. Hoy en día, un Pentium de última generación tiene unos diez millones de transistores, de un tamaño promedio de apenas 100 nanómetros (cien milmillonésimas de metro). IBM acaba de anunciar un transistor comercial de apenas 30 nanómetros.

Curiosamente, el ritmo de miniaturización de transistores obedece a ley de Moore, según la cual el tamaño del transistor se reduce a la mitad cada año y medio, patrón que se ha cumplido desde 1970. Y es esto lo que más preocupa a las empresas electrónicas en la actualidad, porque en el camino de miniaturi-

## UNA CORRIENTE A TRAVÉS DE UNA MOLECULA

La ilustración muestra la secuencia de una conducción de corriente eléctrica (de electrones) a través de una molécula nanométrica situada entre dos electrodos (un transistor molecular). Abajo se representa la energía correspondiente a los electrodos (*cajas amarillas*), llenas de electrones (*bolas verdes*), dependiendo del potencial aplicado (representado por las pilas conectadas al circuito). La energía de la molécula se representa con la estructura marrón vertical, cuyos canales equivalen a los únicos niveles de energía que la molécula puede tomar. De acuerdo con la teoría de la mecánica cuántica. Los electrones sólo pueden acceder a la molécula si su energía coincide con uno de los niveles electrostáticos de la molécula. Para entenderlo, echamos un vistazo a la secuencia mostrada. A la izquierda, no hay ningún voltaje aplicado entre los dos electrodos, con lo que ambos tienen la misma energía (*altura de las cajas amarillas*) y el mismo número de electrones (*número de bolas verdes*). Además, los electrones no pueden pasar de un electrodo a otro porque no hay ningún nivel molecular accesible en esa situación; ni se establece corriente eléctrica.

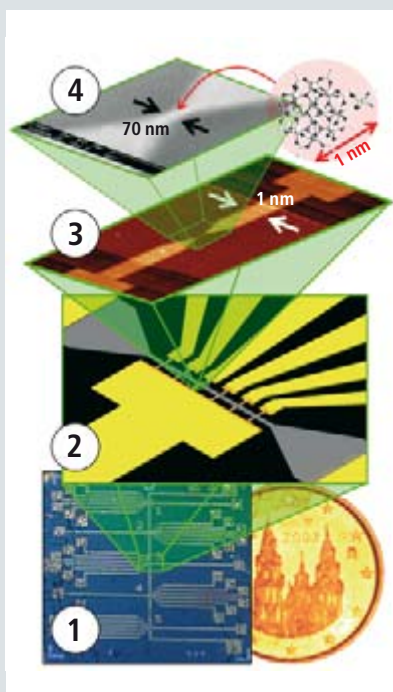
Cuando se aplica un potencial concreto (digamos que conectamos una pila al circuito), como en las imágenes centrales, el



electrodo izquierdo se llena de electrones y su energía aumenta, haciendo que los electrones puedan acceder a un nivel de la molécula, con lo que transitarán al electrodo opuesto, generándose así una corriente eléctrica. Sin embargo, cuando se aumenta aún más el potencial (*imágenes a la derecha*), aunque la energía del electrodo izquierdo sigue aumentando y se llena aun más de electrones, no hay posibilidad de aumentar la conducción porque no hay nuevos niveles moleculares accesibles. Esto es un claro ejemplo del funcionamiento de un transistor y cómo se puede controlar el paso de corriente. En la práctica, se utiliza un tercer electrodo, situado bajo la molécula, que permite sintonizar sus niveles energéticos: se ha creado un *transistor de campo*.

## UN CHIP DE TRANSISTORES MOLECULARES

Esta ilustración muestra diferentes ampliaciones de la circuitería de un chip de treinta transistores moleculares. En la imagen (1) se muestra el chip en comparación con un céntimo de euro. La imagen (2) muestra el diseño usado en su fabricación. Las líneas amarillas son de oro, de un espesor de 200 nanómetros; las naranjas tienen un espesor de 20 nanómetros y corresponden a los electrodos de los seis transistores (uno de los electrodos es compartido). La línea gris que pasa por debajo es el tercer electrodo, que se utiliza para sintonizar los niveles de energía de la molécula. En las imágenes (3) y (4) se muestran fotografías del nanohilo que formará, al fundirse en su parte más estrecha, un transistor, tomadas por microscopios de fuerzas atómicas y de transmisión de electrones, respectivamente. Posteriormente, se depositará en el transistor una de nuestras moléculas magnéticas, una molécula de manganeso ( $Mn_{12}$ ) de un nanómetro de diámetro.



zación hacia lo insospechadamente pequeño la ley de Moore se va a topar de cara con otra ley de la naturaleza, mucho más fundamental, que emerge en el mundo nanoscópico y gobierna el comportamiento de todas las cosas, corriente eléctrica y transistores incluidos: la mecánica cuántica.

Me imagino al lector pensando: “¡Ya estamos con la cuántica de marras! ¿Por qué es tan importante y parece estar tan ligada a la nanotecnología?” La respuesta es simple. Cuando el tamaño de un sistema decrece considerablemente, todas sus características cambian de manera drástica. Por eso es importante la cuántica y afecta tan directamente a la nanotecnología: porque explica este comportamiento. Y ¿por qué la mecánica cuántica supone un problema para los transistores del futuro? La respuesta es simple también. Si sigue decreciendo su tamaño, llegará un momento en el que su comportamiento cambiará de tal manera, que dejarán de actuar como transistores, con lo que serán inservibles.

Pongamos un ejemplo sencillo. Tomemos una bombilla cuya luminosidad sea regulable. Su energía (cantidad de luz) puede adquirir cualquier valor determinado por la corriente que hagamos pasar por su filamento. Sin embargo, si fuéramos capaces de reducir esa bombi-

lla hasta un tamaño nanométrico, su energía luminosa sólo podría adquirir ciertos valores, aunque variásemos continuamente la corriente que fluye por su filamento. Añádase que, al disminuir el tamaño de los circuitos integrados, las pequeñas corrientes utilizadas para procesar (transferir) información entre los transistores pueden llegar a “fundir” los cables. Se trata del mismo fenómeno que utilizan los fusibles para prevenir grandes descargas eléctricas en los electrodomésticos de nuestras casas. El problema se agrava tanto más cuanto menor sea el diámetro de las líneas de corriente del circuito; empieza a cobrar importancia por debajo de los cien nanómetros, justo el rango de interés en los planes a medio plazo de los fabricantes de microprocesadores.

Con todo lo dicho, parecería imposible seguir disminuyendo el tamaño de los procesadores mucho más allá del nivel actual. Sin embargo, la ciencia ha logrado aprovechar las dos limitaciones expuestas para construir un transistor *de un solo nanómetro*, que opera íntegramente bajo las leyes de la mecánica cuántica: el transistor monoelectrónico molecular. Usa los estados cuánticos de energía de una molécula para regular el paso de corriente (*véase el recuadro “Una corriente a través de una molécula”*).

No se trata de una tarea fácil. Estamos hablando de incorporar un objeto de un nanómetro en un circuito; es decir, debemos hacer conexiones a ambos lados de la molécula, con lo que necesitamos dos electrodos (nanohilos) que han de estar separados por un nanómetro. Semejante nivel de detalle en la fabricación de circuitos queda lejos de la realidad alcanzable con la técnica actual, que tiene su límite en la escala de las varias decenas de nanómetros.

No deja de ser curiosa la forma en que se resolvió el problema de la fabricación de nanoelectrodos para los transistores moleculares. Unos investigadores de la Universidad de Berkeley se dieron cuenta de que cuando se funde de manera controlada un nanohilo, haciendo pasar una determinada corriente eléctrica (recuerden los fusibles), se produce una ruptura que puede ser de tan sólo un nanómetro. Fue un químico de Harvard el primero en utilizar la nueva técnica para producir un transistor molecular. Sumergió un chip que contenía varias decenas de nanohilos, previamente fundidos, en una solución líquida de moléculas de fullereno  $Co_{60}$  (una molécula de un nanómetro de diámetro popularizada por su semejanza a un balón de fútbol) y esperó a que el azar hiciera que al menos una de ellas fuese a parar entre las dos secciones de uno de los nanohilos rotos. Así nació el primer transistor molecular de sólo un nanómetro de tamaño, logro que constituyó un gran avance en el desarrollo de la nanoelectrónica.

Sólo unos pocos grupos de investigación (entre ellos, los de la Universidad Cornell o del Instituto Técnico de Delft) han conseguido fabricar transistores moleculares durante los últimos años, utilizando moléculas de interés diverso según el campo de aplicación del dispositivo. Nosotros, en la Universidad Central de Florida, hemos creado transistores monoelectrónicos que, para su funcionamiento, se valen de moléculas magnéticas (*véase el recuadro “Un chip de transistores moleculares”*).

El carácter magnético de nuestras moléculas confiere al transistor molecular unas propiedades únicas. Se puede imaginar la molécula magnética como una pequeña brújula, de sólo un nanómetro de longitud pero con polos norte y sur. Sabemos lo que le pasa a una brújula en presencia de un campo magnético: que se orienta en su misma dirección (gra-

cias a lo cual nos orienta en campo abierto). Con la molécula ocurre lo mismo: sus polos se alinean con un campo magnético que se utiliza para controlar su orientación. Los electrones que constituyen la corriente eléctrica que pasa por nuestra molécula-transistor también son en sí mismos pequeñas brújulas, con norte y sur.

Debido a la naturaleza magnética de la molécula y del electrón, se produce una interacción entre ambos que sirve para controlar la corriente a través del

transistor, ya que el electrón sólo puede atravesar la molécula si ambos tienen la misma orientación de sus polos. Expliquémoslo con una imagen. Supongamos que queremos acercar mutuamente dos imanes potentes. Si al acercarlos los enfrentamos por el mismo polo, la interacción entre ambos impedirá esa aproximación, pero si giramos uno y enfrentamos su polo sur al norte del otro tenderán a pegarse súbitamente.

Lo dijimos antes sobre los objetos pequeños, su comportamiento está re-

gido por la mecánica cuántica. Se ratifica con nuestras moléculas imán. Son tan pequeñas, que su magnetismo es cuántico, lo que les confiere unas propiedades fascinantes que quizá quepa aplicar de manera novedosa en la nanoelectrónica del futuro, incluida la computación cuántica. Pero esto es harina de otro costal.

**Enrique del Barco**  
Departamento de Física  
Universidad Central de Florida

## Cuando falla el riñón

*La fibrosis renal subyace bajo numerosas enfermedades. En ella interviene la expresión aberrante de los genes Snail, que alteran el desarrollo del riñón*

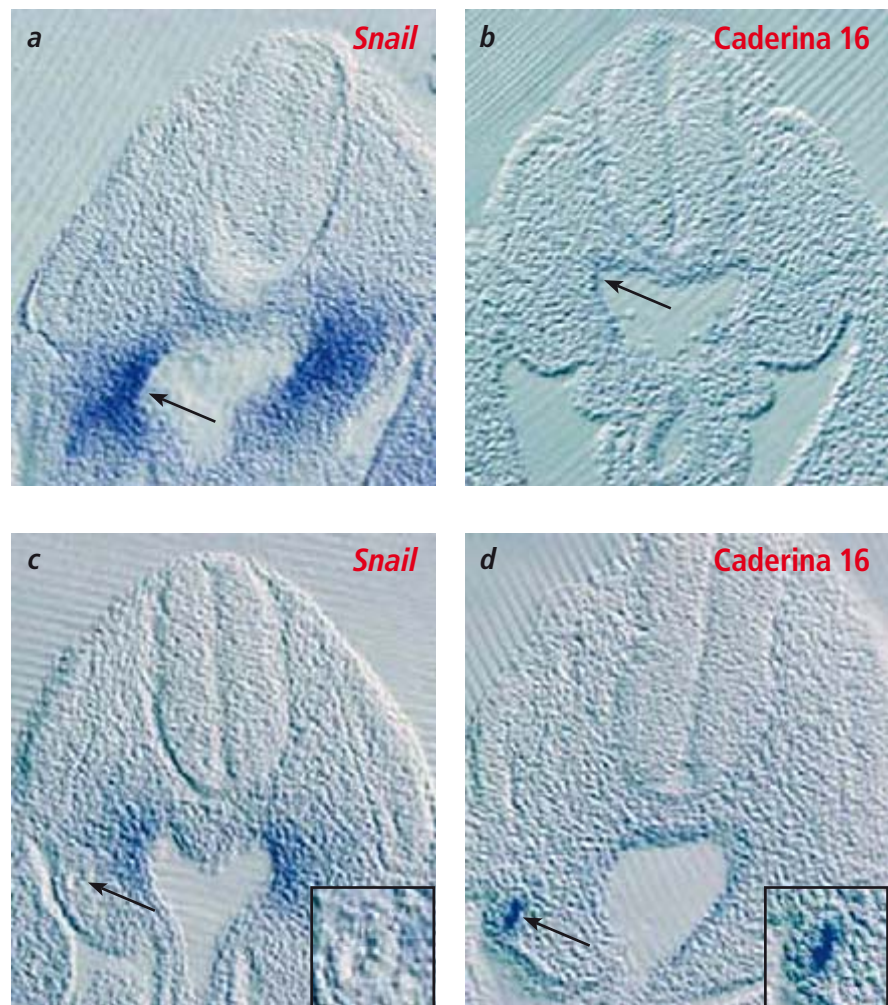
La fibrosis renal constituye el enlace entre la insuficiencia renal progresiva y patologías diversas: glomerulonefritis, diabetes, obstrucción urinaria y rechazo crónico de transplantes renales. La fibrosis es la responsable principal del fallo renal que conduce a la muerte en humanos.

Se sabía que la fibrosis renal se originaba a partir de la activación de fibroblastos que secretaban fibras de colágeno y dificultaban con ello la función normal. (Los fibroblastos son células que sintetizan la sustancia intercelular del tejido conjuntivo embrionario.) Ahora se ha demostrado que las células epiteliales de los túbulos renales sufren un cambio fenotípico que las asemeja a los fibroblastos fibróticos.

### La transformación TEM

Ese cambio celular corresponde al proceso de transición epitelio-mesénquima (TEM), por el que las células pierden los marcadores característicos del epitelio (caderinas) para convertirse en células mesenquimáticas, capaces de soltarse unas de otras y desenvolverse libres. Los genes *Snail* desarrollan una función clave en la inducción de ese proceso celular durante el desarrollo embrionario. También, en la progresión tumoral.

Nuestras investigaciones muestran que *Snail* debe permanecer inactivo en el riñón adulto, ya que su activación aberrante en riñones adultos induce fibrosis. Esos datos, obtenidos en experimentos sobre modelos animales y sobre muestras de



1. Cuatro secciones de embriones de ratón muestran el desarrollo normal del riñón: en los estadios iniciales se detecta la activación de *Snail* (a) y la ausencia de caderina (b); al iniciarse la epitelización, se desactiva *Snail* (c) y aparece la caderina (d), lo que permite la formación de los epitelios de los túbulos renales corticales y medulares.