

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Febrero 2014 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

**MEDICINA**  
Efectos  
del deporte  
en el corazón

**ASTRONOMÍA**  
El legado  
árabe

**EVOLUCIÓN**  
Orígenes  
de la  
complejidad  
biológica

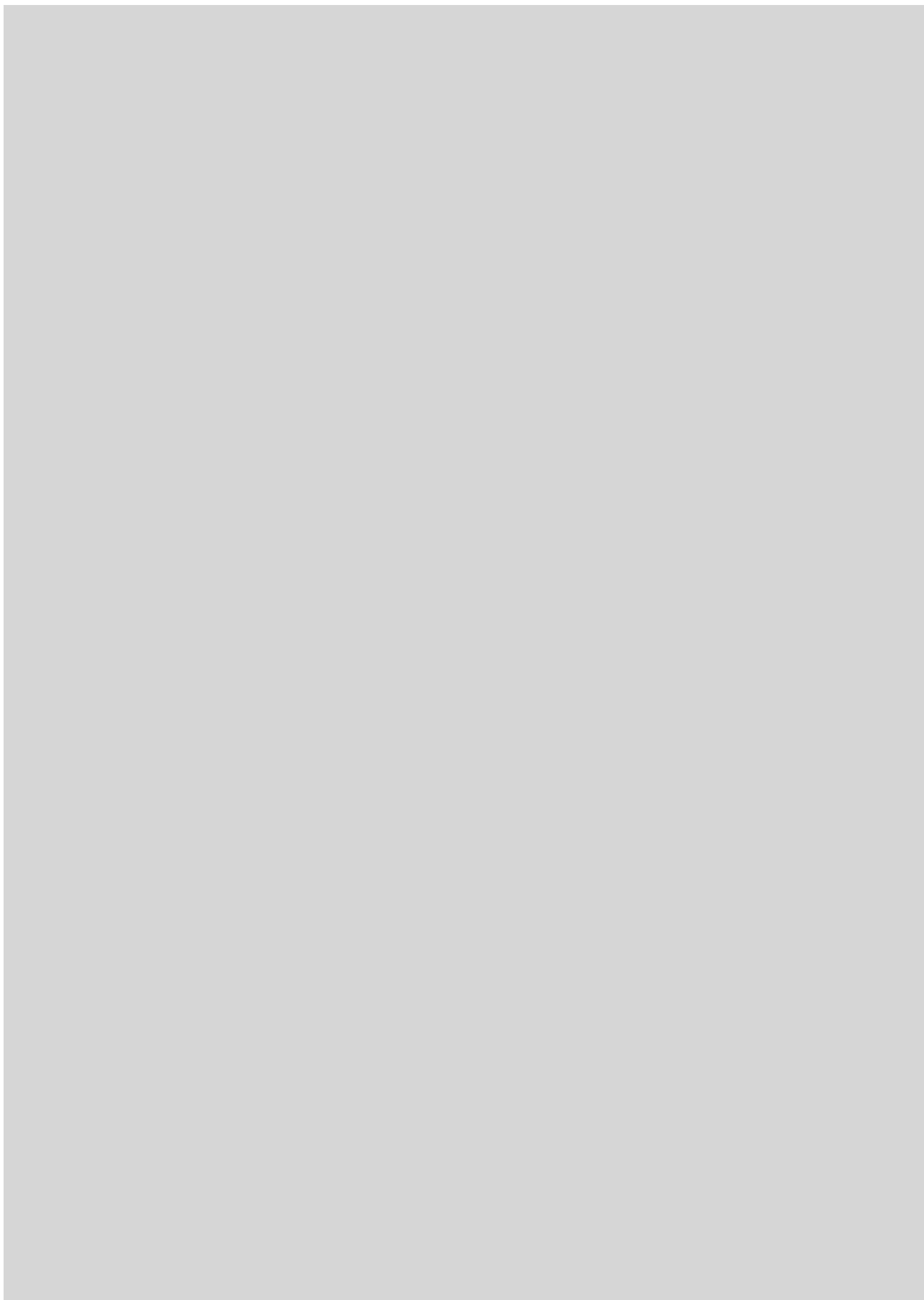
**IDEAS  
QUE CAMBIAN  
EL MUNDO**

# Laboratorios virtuales

La supercomputación  
está revolucionando  
la ingeniería de materiales



6,50 EUROS



## ARTÍCULOS

### INNOVACIÓN

#### 16 IDEAS QUE CAMBIAN EL MUNDO

Diez innovaciones para un futuro mejor: nuevas técnicas en ingeniería de materiales, captura eficaz del dióxido de carbono, construcción ultraligera, robots blandos, metamateriales, uso terapéutico de los microbios intestinales, chips contra el espionaje en la nube, control de fármacos, pantallas flexibles y antisépticos contra la mortalidad neonatal. *Por VV.AA.*

### ASTROPARTÍCULAS

#### 32 La próxima supernova en la Vía Láctea

La explosión de una estrella masiva en nuestra galaxia podría ser inminente. La detección de los neutrinos emitidos durante la deflagración permitirá entender mejor que nunca la física de las supernovas y la naturaleza de estas partículas. *Por Ray Jayawardhana*

### BIOFÍSICA

#### 38 La batalla evolutiva acústica

Los murciélagos y otros animales utilizan las ondas sonoras como herramienta de caza, pero sus presas han elaborado estrategias para eludir la detección. *Por William E. Conner*

### EVOLUCIÓN

#### 66 Orígenes de la complejidad biológica

¿De qué modo pueden los seres vivos crear estructuras refinadas sin selección darwinista? *Por Carl Zimmer*

#### 70 ¿Cuán perfecta es la forma de los animales?

*Por Isaac Salazar Ciudad y Miquel Marín-Riera*

### HISTORIA DE LA CIENCIA

#### 74 El árabe en la astronomía

Más de doscientos nombres de estrellas, varios cráteres lunares y tres términos astronómicos empleados aún hoy dan testimonio de los mil años de relación entre Occidente y la ciencia en el mundo musulmán. *Por Paul Kunitzsch*

### COGNICIÓN

#### 82 Por qué el cerebro prefiere el papel

La popularidad de las tabletas y los reproductores de libros electrónicos crece a la par que mejora su tecnología. Pero la lectura en papel sigue teniendo sus ventajas. *Por Ferris Jabr*

### DEPORTE Y SALUD

#### 52 Adaptación cardíaca al ejercicio físico

El sistema cardiovascular experimenta cambios adaptativos en respuesta al entrenamiento. Identificarlos y distinguirlos de las enfermedades cardíacas resulta de vital importancia a la hora de practicar deporte. *Por Marta Sitges y Josep Brugada*

#### 60 Los beneficios del ejercicio

La actividad física resulta beneficiosa para el organismo por muchas razones más allá de las viejas conocidas. *Por Shari S. Bassuk, Timothy S. Church y JoAnn E. Manson*

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

## SECCIONES

### 3 Cartas de los lectores

### 4 Apuntes

Electricidad solar a la carta. Un vergel en el desierto. Las mejores piedras para el curling. Setas mágicas. Marfil reducido a polvo. Ayunar para comer y no ser comido. Micromáquinas en el cóctel.

### 7 Agenda

### 8 Panorama

La historia evolutiva del pueblo asturiano. *Por Belén López Martínez y Antonio Fernández Pardiñas*

La versatilidad de los fullerenos. *Por Marc Garcia Borràs, Sílvia Osuna y Miquel Solà*

Los metamateriales se acercan al mercado. *Por Lee Billings*

### 46 De cerca

Ciliados árticos, una explosión de vida. *Por Mireia Collado Pastor, Susana Agustí y Dolors Vaqué*

### 48 Historia de la ciencia

Diagramas en la arena. *Por Jaume Sastre Juan*

### 50 Foro científico

La tecnología que se lleva. *Por Philippe Kahn*

### 88 Taller y laboratorio

Las artes del carbonero. *Por Marc Boada Ferrer*

### 92 Juegos matemáticos

Gödel y la verdad axiomática. *Por Agustín Rayo*

### 94 Libros

Bosón de Higgs. *Por Luis Alonso*

### 96 Hace...

50, 100 y 150 años.



## EN PORTADA

La manera tradicional de diseñar nuevos materiales se ha basado siempre en el método de ensayo y error. Desde hace unos años, la posibilidad de simular en superordenadores las propiedades cuánticas de la materia augura una revolución en la manera de concebir y poner a prueba nuevos compuestos. Esta y otras nueve propuestas conforman nuestro informe anual «Ideas que cambian el mundo». Ilustración de André Kutscherauer.





Diciembre 2013

## SEÍSMOS Y ONDAS GRAVITACIONALES

En el artículo «Cómo oír la gran explosión» [por Ross D. Andersen; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2013] se comenta la necesidad de proteger los detectores terrestres de ondas gravitacionales de los efectos provocados por las sacudidas sísmicas, incluso las más leves. ¿Qué mecanismos compensatorios se emplean para amortiguar los detectores y evitar estas y otras interferencias? ¿Podría la técnica en que se basan dichos detectores (interferometría láser) hallar aplicaciones en el estudio de las ondas sísmicas terrestres, dada su elevada sensibilidad a ellas?

JUAN TORRAS SURIOL  
Tarrasa, Barcelona

RESPONDE ALICIA SINTES OLIVES (Grupo de Relatividad de la Universidad de las Islas Baleares y miembro de la Colaboración LIGO): *Son numerosos los factores que causan constantes y minúsculos cambios en la longitud relativa de los brazos de los interferómetros y que tienden a enmascarar las señales de las ondas gravitacionales. Los detectores como LIGO utilizan tecnología punta para minimizar los efectos de las vibraciones locales y los movimientos de la corteza terrestre, así como para contrarrestar las fuerzas de marea que el Sol, la Luna e incluso los océanos ejercen sobre los espejos del detector.*

*El sistema de posicionamiento y aislamiento de LIGO funciona mediante una combinación de siete niveles activos y pasivos de aislamiento sísmico. Por «activos» nos referimos a sensores de posición y velocidad (con sismómetros en este último caso) que detectan el movimiento de la plataforma y emplean electroimanes en bucles de retroalimentación para mantenerla inmóvil. Un ejemplo son los sistemas hidráulicos situados en el exterior de los tanques de vacío. Los pasivos están compuestos por las masas de prueba suspendidas de un sistema de péndulos acoplados de al menos cuatro niveles y muelles rígidos verticales, los cuales suprimen el movimiento por encima de sus frecuencias de resonancia. Este sistema reduce en más de nueve órdenes de magnitud (por debajo de diez hercios) el movimiento normal de la tierra y el causado por pequeños temblores. Asimismo, existen mecanismos de protección alrededor de las masas de prueba para evitar que*

*estas se muevan demasiado, como ocurre cuando sobreviene un terremoto de gran amplitud. En tales casos, solo queda esperar a que la tierra se calme para seguir con las observaciones.*

*Hasta el momento, el estudio de las ondas sísmicas en el campo de las ondas gravitacionales se ha centrado en entender sus efectos en el detector. Sin embargo, recientemente se ha empezado a investigar la posibilidad de utilizar la tecnología de estos detectores para contribuir a la comprensión de los seísmos. Los más comunes se producen por la ruptura de fallas geológicas, que desplazan grandes cantidades de masa y cambian la densidad en la roca que las rodea. Como consecuencia, se produce un cambio en el campo gravitatorio, el cual ha sido observado en varias ocasiones por el satélite GRACE, así como por redes de gravímetros superconductores. Sin embargo, descubrir variaciones con estos instrumentos requiere un minucioso análisis a posteriori de los datos.*

*La idea que ahora se plantea es utilizar las señales de los detectores de ondas gravitacionales para observar de forma instantánea cambios de gravedad debidos a los terremotos. Estas observaciones no solo proporcionarían información directa del centro del seísmo que es inaccesible a las mediciones sísmicas, sino que su incorporación a los sistemas de alerta temprana daría lugar a un aumento significativo de los tiempos de alerta en aquellos lugares del mundo donde hay un mayor riesgo de terremotos de alta magnitud, con la consiguiente oportunidad de salvar vidas humanas. Por ello, varios grupos de todos los continentes están trabajando en las mejoras técnicas necesarias para allanar el camino hacia una nueva era en la sismología.*

*Deseo agradecer al Sr. Torras su interés por estas investigaciones y al grupo de divulgación de la Colaboración Científica de LIGO por ayudarme a elaborar esta respuesta.*

## Errata corrige

En **El nuevo imperio nuclear ruso**, de Eve Conant [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2013] concurren varias imprecisiones. En la página 75 se afirma que «el pasado julio, tras rechazar las ofertas de Francia y Japón, también Finlandia se decantó por los rusos para su próxima central». Finlandia aún no ha tomado una decisión definitiva; en julio, un comité de expertos del país recomendó la opción rusa. En la página 77 se menciona que los reactores de tipo VVER «se alojan en un edificio de contención». En realidad, solo los modelos VVER recientes lo hacen. Asimismo, como apunta nuestro lector Manuel Golmayo Fernández, se afirma que los reactores que se fundieron en Chernóbil «empleaban agua a presión para generar el vapor de las turbinas»; sin embargo, aquellos reactores eran del tipo RBMK, un modelo que no pertenece a la clase de reactores de agua a presión.

En **La larga vida de los humanos**, de Heather Pringle [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2013], en la página 29 deben sustituirse las tres últimas oraciones del tercer párrafo («Finch explica... tejidos sanos.») por «El calor y el enrojecimiento se producen por la rápida afluencia de sangre caliente hacia el tejido dañado. La hinchazón se debe al aumento de la permeabilidad vascular, que hace que las células y el plasma se introduzcan en la zona afectada, donde aportan proteínas que ayudan a prevenir la propagación de la infección y a iniciar la cicatrización de la herida».

Como apunta nuestro lector Josué Casado Rebasco, en el artículo **Mundos con dos soles**, de W. F. Welsh y L. R. Doyle [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2014], el recuadro de la página 25 menciona dos veces los «planetas de tipo S». La segunda definición se refiere en realidad a los planetas de tipo P.

## CARTAS DE LOS LECTORES

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

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

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

## Electricidad solar a la carta

En las zonas rurales del África subsahariana solo una persona de cada seis dispone de electricidad. Las lámparas de queroseno constituyen la fuente primaria de luz de muchos hogares, pero sus usuarios pagan por ello un coste muy

alto, tanto en dinero como en salud. Un aldeano de Kenia o Ruanda abona por el queroseno docenas de veces más que lo que paga un estadounidense por la electricidad necesaria para obtener el mismo alumbrado. Cargar un teléfono móvil en



un quiosco resulta aún más caro. «No es que los más pobres del mundo paguen un poco más por la energía, sino que desembolsan una cantidad desproporcionada», sostiene Simon Bransfield-Garth, director de Azuri Technologies, una empresa de energía solar radicada en el Cambridge británico. Además, las lámparas de queroseno contaminan el aire, por lo que entrañan riesgos para la salud, sobre todo la de los niños.

Los juegos de componentes solares para alumbrar y cargar baterías ofrecen una alternativa prometedora. Sin embargo, muchas familias rurales no pueden adelantar los 40 euros o más que requiere la inversión. Por eso, Azuri y otros fabricantes venden sus productos con un plan de financiación que reduce el desembolso inicial a menos de 10 euros. Después, las familias pagan por la electricidad a medida que la van usando o bien cuando pueden (tras una buena cosecha, por ejemplo). Una vez amortizado el kit solar, la electricidad subsiguiente es gratuita.

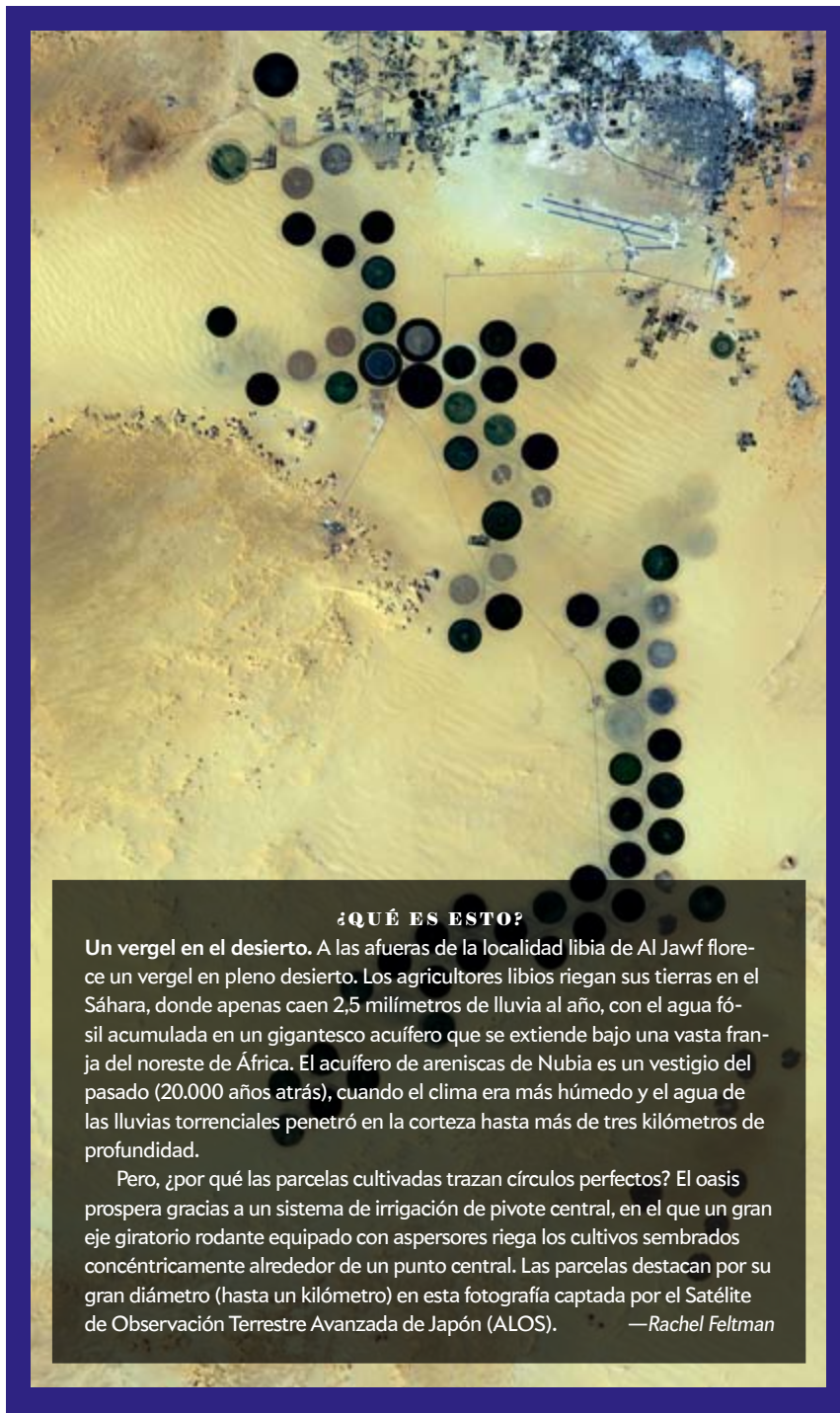
Parece que la idea va cobrando fuerza. Azuri cuenta ya con más de 21.000 clientes. M-KOPA Solar, que emplea la red de pagos por teléfono móvil M-PESA, muy extendida en algunos países del continente, sirve a 40.000 hogares. Y Angaza-Design, radicada en Estados Unidos, va camino de llegar a los 10.000 clientes en un año.

Pero llevar la técnica a muchos hogares más quizá resulte difícil. Algunas de las nuevas empresas que han comenzado a prestar el servicio se están acercando a sus límites de capital mientras esperan el reembolso por parte de sus clientes. Y, si estos dejan de pagar, los problemas de liquidez solo empeoran aún más.

Con todo, el lanzamiento de servicios semejantes podría traer importantes lecciones para el resto del mundo. «Se debate sin cesar sobre cuándo se equiparará el coste de la energía solar con el de la electricidad de la red, ya sea en Estados Unidos o en cualquier otra parte», recuerda Bryan Silverthorn, jefe técnico de Angaza. «África es un lugar donde, para una gran parte de la población, la energía solar es hoy la más barata. Quién sabe qué pasará a continuación.»

—David Wagan

GETTY IMAGES (foto); CORTESÍA DE LA AGENCIA ESPACIAL EUROPEA (desierto)



### ¿QUÉ ES ESTO?

Un vergel en el desierto. A las afueras de la localidad libia de Al Jawf florece un vergel en pleno desierto. Los agricultores libios riegan sus tierras en el Sáhara, donde apenas caen 2,5 milímetros de lluvia al año, con el agua fósil acumulada en un gigantesco acuífero que se extiende bajo una vasta franja del noreste de África. El acuífero de areniscas de Nubia es un vestigio del pasado (20.000 años atrás), cuando el clima era más húmedo y el agua de las lluvias torrenciales penetró en la corteza hasta más de tres kilómetros de profundidad.

Pero, ¿por qué las parcelas cultivadas trazan círculos perfectos? El oasis prospera gracias a un sistema de irrigación de pivote central, en el que un gran eje giratorio rodante equipada con aspersores riega los cultivos sembrados concéntricamente alrededor de un punto central. Las parcelas destacan por su gran diámetro (hasta un kilómetro) en esta fotografía captada por el Satélite de Observación Terrestre Avanzada de Japón (ALOS). —Rachel Feltman

## GEOLOGÍA

### Las mejores piedras para el curling

Cuando el día 7 de este mes comiencen los Juegos Olímpicos de Invierno en Sochi, veremos a esquiadores descender pendientes a 130 kilómetros por hora, jugadores de hockey arrojar con ímpetu contra las vallas y practicantes de tabla sobre nieve contornearse y ejecutar múltiples vueltas por salto. Sin embargo, podremos disfrutar también de un deporte más tranquilo: el curling. Semejante a unos «bolos sobre hielo», sus participantes deben lanzar una piedra de unos 20 kilos a lo largo de una superficie congelada. Mientras, sus compañeros cepillarán el suelo a fin de modificar el efecto giratorio (*curl*) que el lanzador impartió inicialmente a la piedra y, de esta manera, intentar que esta se acerque lo máximo posible a un blanco.

Aunque recién llegado a los Juegos Olímpicos (en 1998), el curling cuenta con una larga y rica historia. «Absolutamente todas las piedras del curling olímpico proceden de una pequeña isla escocesa: Ailsa Craig», explica Erika Brown, capitana del equipo femenino de Estados Unidos. «No existen piedras que giren como las de Ailsa Craig.»

La isla, situada a unos quince kilómetros de la costa escocesa, ocupa unas 90 hectáreas. De ella salen las dos variedades de granito que se usan en las competiciones de élite. La capa que se desliza sobre el hielo se fabrica con cierta variedad azul; la central, o capa de golpeo, con granito verde común. «El revestimiento de piedra que avanza sobre el hielo ni se astilla ni absorbe agua; pero, sobre todo, su comportamiento resulta muy predecible. Siempre sabes qué va a pasar con el lanzamiento», asegura Brown. «Además, la capa central no se rompe cuando las piedras chocan.»



Ese comportamiento puede explicarse a partir de la historia geológica de la isla, formada hace 60 millones de años. Ailsa Craig es una intrusión volcánica. Como explica John Faithfull, geólogo de la Universidad de Glasgow, se trata de una masa de magma que se abrió paso entre las formaciones preexistentes. El magma se enfrió con rapidez y formó granito, mientras que la roca circundante se erosionó. Faithfull aclara que, al final, lo único que sobrevivió fue la roca que hoy forma Ailsa Craig, muy dura y resistente.

A medida que cristalizaba, la roca volcánica desarrolló una superficie robusta y uniforme. «Cuando el magma se enfría tan rápido, se forman cristales muy pequeños. Estos se entrelazan y surgieron enlaces químicos entre ellos», apunta Martin Gillespie, del Servicio Geológico Británico. «Y tampoco parece que tenga microgrietas», concluye.

Las cualidades únicas de ese granito lo convierten en un «patrón oro», asegura Brown. «Para quienes practicamos el curling, la isla es un lugar místico.»

—Michael Easter

## BIOLOGÍA

### Setas mágicas

Las setas han sido descritas en ocasiones como órganos rudimentarios que se limitan a engendrar tantas esporas como pueden. La distancia recorrida quedaría al arbitrio del viento. Sin embargo, una mirada más atenta ha revelado un panorama más complejo.

Marcus Roper, matemático de la Universidad de California en Los Ángeles, asegura que las setas representan la mate-

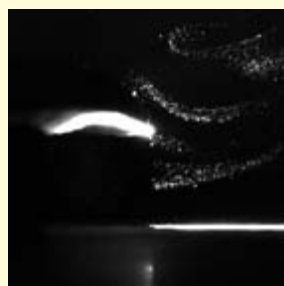
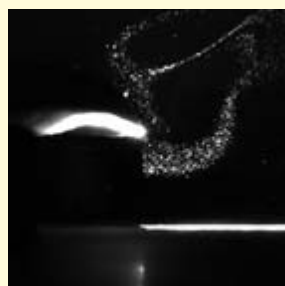
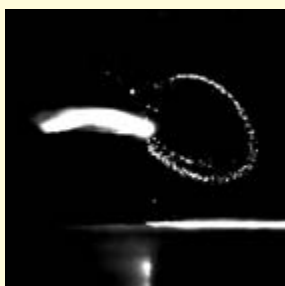
ria oscura de la biología. Se hallan por todas partes, pero han sido muy poco estudiadas.

Roper y sus colaboradores han empleado técnicas de grabación en vídeo de alta velocidad y análisis matemáticos para investigar la dispersión de las esporas en ausencia de viento. En un reciente encuentro de la sección de dinámica de fluidos de la Sociedad Estadounidense de Física anunciaron, para sorpresa de todos, que los hongos creaban sus propias corrientes de aire.

El truco para lanzar al aire las esporas se denomina enfriamiento por evaporación. La evaporación de minúsculas gotas de agua que aparecen en la superficie del hongo justo antes de la dispersión genera el vapor necesario para elevar las esporas y facilitar su diseminación.

El nuevo descubrimiento «ahonda en las complejidades que ocultan las humildes setas», afirma Nicholas Money, biólogo de la Universidad de Miami en Ohio. «Es un ejemplo espléndido de ingeniería evolutiva.»

—Rachel Nuwer



## CONSERVACIÓN

### Marfil reducido a polvo

**Una despejada mañana del pasado noviembre**, el aire de las afueras de Denver se llenó de polvo cuando una machacadora de roca pulverizó casi seis toneladas de marfil de elefante. Los volquetes vertieron en la trituradora un lote tras otro de colmillos enteros, estatuillas talladas, brazaletes y otros abalorios, que salieron convertidos de las entrañas de la máquina en fragmentos similares a pedazos de conchas.

El Servicio de Pesca y Fauna Silvestre de EE.UU. destruyó esa jornada los alijos de marfil incautados a lo largo de un cuarto de siglo (con un valor estimado de 12 millones de dólares en el mercado negro) para lanzar un claro mensaje a todo el mundo: el país no tolerará la caza furtiva de los elefantes ni los delitos contra la fauna en general. El comercio internacional de marfil es ilegal desde 1989, pero hoy los cazadores furtivos siguen abatiendo elefantes africanos por sus colmillos, a razón de uno cada 15 minutos. De seguir así, la especie se extinguirá en pocas décadas.

A las autoridades no solo les preocupa el volumen del comercio de marfil, sino a costa de qué animales se lucra. Hoy la caza furtiva está dirigida por organizaciones criminales internacionales que trafican con la fauna del mismo modo que con personas,



drogas o armas. Los dividendos que reporta la venta ilegal de marfil, cuernos de rinoceronte y otros productos faunísticos (cifrados en 19.000 millones de dólares anuales) financian a grupos terroristas y otros colectivos extremistas. Y los países que albergan elefantes salvajes no suelen disponer de los recursos necesarios para perseguir a los delincuentes.

La destrucción del marfil decomisado sigue siendo objeto de controversia porque hay quien pone en duda que ayude a acabar con el tráfico. Los críticos sostienen que ese tipo de acciones que reducen las existencias de marfil impulsan el precio al alza y fomentan aún más la caza furtiva.

Pero los intentos por inundar el mercado con marfil han causado el efecto contrario y han alentado la caza ilegal, asegura Peter Knights, de WildAid, una organización no gubernamental de San Francisco. Knights equipara el tráfico ilegal de fauna silvestre

con el narcotráfico y cree preciso mirar al pasado y aprender una lección: «A nadie se le ocurriría volver a poner en circulación la heroína aprehendida».

—Kate Wong

*Los gastos de desplazamiento de la autora para asistir a la destrucción del marfil fueron sufragados en parte por la Fundación Internacional para el Bienestar Animal (IFAW) y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF).*

## ZOOLOGÍA

### Ayunar para comer y no ser comido

**Los pájaros** que revolotean en invierno por los jardines tienen una sola preocupación: encontrar alimento para subsistir y poder engendrar la descendencia en la próxima primavera y verano. Un ave menuda llega a perder hasta el diez por ciento de su peso en una sola noche, por lo que se ve obligada a comer sustanciosamente a diario. Sin embargo, si se excede puede perder agilidad y ser presa fácil de gaviñanes y otros depredadores.

Investigadores de la Universidad de Oxford fijaron microchips a más de 2000 pájaros con el propósito de seguir sus movimientos. Por medio de una red de comederos equipados con detectores de microchips y el traslado diario de algunos de estos comederos dedujeron cómo buscaban el sustento.

Cuando las aves abandonan los dormitorios por la mañana, exploran el entorno y evalúan la calidad y la ubicación de las

fuentes de alimento sin probar bocado. Este ayuno matinal les permite conservar la agilidad indispensable para burlar a sus enemigos durante las horas diurnas. Al caer la tarde, regresan a los lugares donde saben que hallarán alimento, según describen los autores del estudio en *Biology Letters*.

Este nuevo experimento supone uno de los primeros intentos por estudiar cómo resuelven los pájaros silvestres el dilema de comer sin convertirse en un bocado apetecible. «Casi todos los trabajos precedentes se basaban en modelos teóricos o se habían llevado a cabo en cautividad», asegura Damien Farine, coordinador del experimento.

Sistemas similares de implantación de microchips permitirán investigar otras



cuestiones relativas a la transmisión de enfermedades, la estructura de las redes sociales y las capacidades cognitivas de las aves, afirma Ron Ydenberg, director del Centro de Ecología Silvestre de la Universidad Simon Fraser, en la Columbia Británica. «Cuando me gradué, hace treinta años, este tipo de análisis parecían irrealizables», recuerda.

—Jason G. Goldman

ED ANDRIESKI, AP PHOTO (marfil); YOKU MISHIMA, CORBIS (pájaro)





## INGENIERÍA

## Micromáquinas en el cóctel

No parece que encontrar un insecto en la bebida vaya a agradar a nadie. Sin embargo, un célebre cocinero y un equipo del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) esperan que un imaginativo accesorio para cócteles inspirado en un insecto acuático provoque la delicia de los comensales.

El diminuto artilugio, cuya forma recuerda a una barca, se propulsa por la superficie de la bebida durante unos dos minutos gracias a un truco sacado de la naturaleza. La pequeña barca contiene un licor de alta gradación que se va derramando poco a poco en el cóctel a través de una muesca abierta en un extremo. La diferencia en contenido alcohólico entre los dos líquidos crea un gradiente en la tensión superficial que impulsa la barca mediante el efecto Marangoni. Numerosos insectos acuáticos se basan en el mismo fenómeno para propulsarse; pero, en vez de verter Bacardi 151, desprenden sustancias que modifican la tensión superficial bajo sus patas.

El origen del aparato se remonta al día en que John Bush, profesor de matemática aplicada en el MIT, asistió a una charla del chef José Andrés, que imparte clases de ciencia culinaria en Harvard. Bush le

sugirió que colaborasen. «Buena parte de mis investigaciones versan sobre la tensión superficial, que a su vez es la causa de todo tipo de fenómenos interesantes en la cocina... o en el bar», explica.

Aparte del ingenio mencionado, los investigadores diseñaron una pipeta con forma de flor que el comensal puede sumergir en el cóctel para después llevarse una gota a la lengua. La pipeta cierra sus pétalos cuando es extraída del líquido y atrapa así una gota en su interior. El artilugio imita a la inversa el mecanismo de las flores flotantes que, como los nenúfares, se cierran para atrapar aire cuando sube el nivel del agua. El pasado mes de octubre, Bush, Andrés y otros colaboradores publicaron sus resultados en la revista *Bioinspiration & Biomimetics*.

Para lograr su objetivo, los investigadores emplearon primero una impresora en 3D para fabricar los prototipos. Después, confeccionaron moldes para que Andrés y su equipo hicieran las barcas y las flores con gelatina o caramelo. «Los diseños no solo tienen que ser funcionales y estéticamente agradables, sino también comestibles», añade Bush.

—Rachel Feltman

## CONFERENCIAS

13 de febrero

**Grandes instrumentos para un mundo minúsculo: Los aceleradores y protectores de partículas del CERN**

Ciclo «Los secretos de las partículas. La física fundamental en la vida cotidiana»  
Mar Capeáns, CERN  
Fundación BBVA  
Madrid  
[www.fbbva.es](http://www.fbbva.es) > Agenda

19 de febrero

**Avances en cáncer de mama: De la biología tumoral a la cabecera de la paciente. Una perspectiva integral**

César A. Rodríguez Sánchez, Hospital Universitario de Salamanca  
Proyecto Ciudad Ciencia  
Miranda de Ebro  
[www.ciudadciencia.es](http://www.ciudadciencia.es)

## EXPOSICIONES

A partir del 4 de febrero

**Las moléculas de la vida**

Casa de la Ciencia  
Sevilla  
[www.casadelaciencia.csic.es](http://www.casadelaciencia.csic.es)

Hasta el 23 de febrero

**La superación de un matemático. Ferran Sunyer i Balaguer**

Palacio Robert, Barcelona  
[Gencat.cat/palaurobert](http://Gencat.cat/palaurobert)

**Experiencias matemáticas**

Museo de Matemáticas de Cataluña  
Cornellá de Llobregat  
[www.mmaca.cat](http://www.mmaca.cat)

## OTROS

6 de febrero - Demostración

**Robots humanoides en el mundo real**

Jordi Albó Canals, La Salle  
Barcelona - URL  
Cosmocaixa  
Barcelona  
[Cosmocaixa.com](http://Cosmocaixa.com)



Curso para educadores

**Universo Internet**

Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona  
Barcelona  
[www.cccbeducacio.org](http://www.cccbeducacio.org)

## La historia evolutiva del pueblo asturiano

Las antiguas fronteras entre asentamientos astures han dejado su rastro en el ADN de los habitantes actuales

Los análisis de la diversidad genética de los grupos humanos permiten determinar cuál es su origen y rastrear posibles movimientos migratorios que tuvieron lugar en el pasado. Estas observaciones constituyen un soporte importante para los estudios forenses y médicos que, como en los casos de criminalidad y las pruebas de paternidad, necesitan conocer la composición genética de las poblaciones sondeadas.

Actualmente, los análisis de los grandes grupos continentales clásicos (europeos, asiáticos, africanos y nativos americanos) han dejado paso a investigaciones regionales, dado el progresivo avance y abaratamiento de las técnicas de secuenciación del ADN. Eventos destacables en la historia, como la colonización de la Polinesia, el nacimiento de la etnia romaní o el repoblamiento magdaleniense de Europa

occidental, por mencionar algunos ejemplos, se estudian gracias al esfuerzo de numerosos grupos que trabajan a escala local. Cada nuevo hallazgo surgido de la labor de estos equipos arroja luz sobre el pasado y el presente de la humanidad, y permite avanzar en el campo de la antropología física.

### Diversidad genética en Asturias

En el noroeste de la península ibérica se encuentra Asturias, una comunidad autónoma con alrededor de un millón de habitantes, cuyas características y geografía la hacen especialmente interesante para ese tipo de trabajos. Aislada de la meseta Central por la cordillera Cantábrica, sus ríos cortos y caudalosos, que desembocan en el mar Cantábrico, trazan profundos valles separados por montañas que dibujan una orografía intrincada.

Los pequeños y numerosos núcleos poblacionales que salpican esos valles han permanecido aislados unos de otros durante largo tiempo (sobre todo en el pasado). Ello ha permitido que se conservaran en el ADN de los asturianos huellas genéticas de épocas remotas, a pesar de la gran movilidad de las poblaciones humanas actuales.

En el año 2009, los investigadores firmantes de este artículo, junto con Eva García y Agustín Roca, del área de genética de la Universidad de Oviedo, iniciaron un proyecto para analizar la diversidad genética de Asturias. Durante dos años, y gracias a la colaboración de ayuntamientos, medios de comunicación y, especialmente, de voluntarios desinteresados, se obtuvo una muestra del ADN de más de 500 asturianos cuyos municipios de nacimiento abarcaban el 80 por ciento del territorio. Estos participantes fueron elegidos por contar con antepasados asturianos en las dos generaciones anteriores como mínimo, lo que aseguraba un cierto grado de autoctonía. Los resultados del estudio se publicaron en las revistas *Journal of Human Genetics* y *PLoS ONE* en 2012.

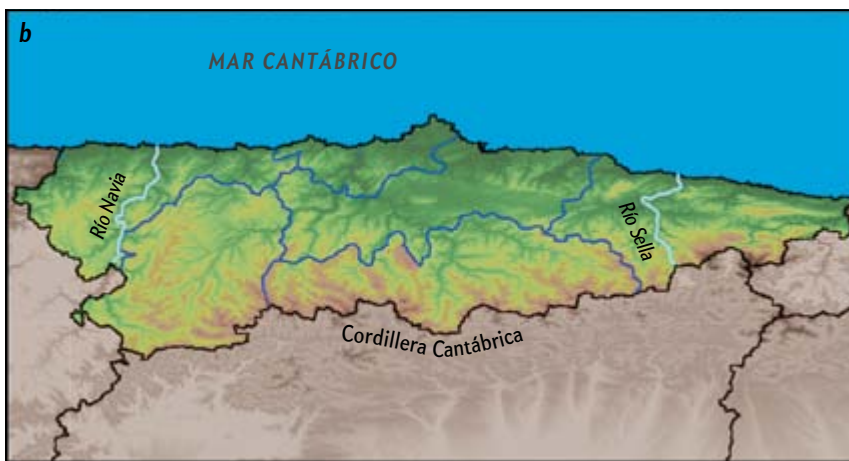
### Linajes privados

La secuenciación del ADN mitocondrial (heredado por vía materna) de estos voluntarios permitió encontrar linajes que no eran compartidos con otras poblaciones peninsulares. La distribución de estos linajes privados asturianos, comparada con hallazgos semejantes en otras regiones europeas, puede considerarse consecuencia del aislamiento histórico, o bien de una fragmentación interna de la población, es decir, de una estructuración genética (una población estructurada genéticamente es aquella compuesta por subunidades o subpoblaciones menores, con diferencias genéticas entre las mismas).

Un análisis detallado, en el que se consideró la procedencia geográfica de cada muestra, reveló la existencia de una marcada estructuración genética



**EL MUESTREO GENÉTICO** se realizó sobre individuos con ascendencia asturiana de al menos dos generaciones, cubriendo la mayor parte del territorio regional. En la imagen, fiesta popular celebrada a principios del siglo XX cerca de Oviedo.



**EL ANÁLISIS DEL ADN DE MÁS DE 500 VOLUNTARIOS** ha arrojado luz sobre la composición genética del pueblo asturiano. Las líneas negras marcan los límites administrativos provinciales. Las de colores, que corresponden a «saltos» en la frecuencia de los linajes maternos y paternos hallados en la zona, definen la estructura genética de las subpoblaciones. Se observa una gran concordancia entre los resultados obtenidos a partir del análisis del ADN mitocondrial (a, rojo) y los del cromosoma Y (b, azul).

en Asturias. Esta afecta sobre todo a los municipios de los extremos oriental y occidental de la región, cuyas poblaciones muestran una diferenciación genética con respecto a las centrales. Este tipo de estructuración espacial es bastante común en otras especies animales, pero resulta infrecuente en los humanos, en los que puede aparecer a consecuencia de factores históricos, barreras geográficas naturales o ambos.

Para confirmar esos resultados, se realizaron los mismos análisis sobre el cromosoma Y (de herencia paterna) de la muestra asturiana. Se encontró una concordancia casi total entre ambos marcadores genéticos (ADN mitocondrial y cromosoma Y). Ello sugiere un origen antiguo de las subpoblaciones asturianas, basado

en agrupaciones de tipo familiar relativamente aisladas entre sí y con movilidad (migración) similar para ambos sexos.

#### Barreras sociopolíticas

En escalas espaciales reducidas, se esperaría que la diferenciación genética de las poblaciones humanas fuera proporcional a la distancia geográfica que las separa. Sin embargo, en ocasiones esta hipótesis no se cumple. Ello se debe a la existencia de barreras genéticas, es decir, obstáculos que dificultan la migración y, con ello, el flujo génico entre poblaciones, causando una división entre las mismas. Este es el caso de la población asturiana.

Mediante la aplicación de métodos más refinados, que permiten detectar obstáculos a las migraciones, descubrimos

que los municipios del sur, los más cercanos a la cordillera Cantábrica y de relieve más montañoso, mostraban diferenciaciones genéticas con respecto a sus vecinos muy superiores a las que cabría esperar por su separación geográfica. Asimismo, hallamos que las divisiones más marcadas (las que indicaban una mayor diferencia en las frecuencias génicas de ADN mitocondrial y cromosoma Y) coincidían con los extremos orientales y occidentales de esos municipios.

¿Cuáles habrían podido ser los obstáculos causantes de esas diferenciaciones? ¿Dónde se situarían? Cabe resaltar que, debido al propio método de análisis, cuya unidad de muestreo ha sido el municipio, la localización de las barreras genéticas solo puede estimarse en el plano administrativo actual, no en el geográfico.

Para averiguar dónde se hallarían las barreras «reales», debemos buscar en los accidentes geográficos más próximos: en este caso, los ríos Sella y Navia. Con todo, dado que no constituyen obstáculos infranqueables, parece poco razonable pensar que hubieran significado una barrera natural para los habitantes de la zona. Sin embargo, y puesto que estos ríos servían de fronteras entre las antiguas tribus astures que poblaban la zona en la época prerromana, más bien habrían operado a modo de barrera sociopolítica.

Asociaciones similares entre las fronteras prerromanas y la diferenciación genética poblacional también se han encontrado en otras zonas del norte peninsular, como en el País Vasco, según un reciente estudio llevado a cabo por el Consorcio Internacional Genographic. Ello sugiere que las características del poblamiento ibérico durante la Edad Antigua, junto con las políticas territoriales prerromanas y romanas, han dejado huellas en el ADN de las poblaciones humanas que han llegado hasta nuestros días.

Se abren nuevos interrogantes tanto hacia atrás como hacia delante en la historia: ¿cuál es la huella de las migraciones medievales y modernas? ¿Qué mezcla ancestral de linajes genéticos generó las poblaciones autóctonas de la cornisa Cantábrica? Continuamos investigando.

—Belén López Martínez  
—Antonio Fernández Pardiñas  
Área de antropología física  
Universidad de Oviedo

# La versatilidad de los fullerenos

La encapsulación de metales en el interior de estas moléculas y la funcionalización de las mismas abren nuevas vías de aplicación en biomedicina y nanotecnología

Un balón de fútbol consta de 12 pentágonos y 20 hexágonos de cuero, y tiene un diámetro de unos 22 centímetros. Si sustituimos cada uno de los vértices de los pentágonos y hexágonos del balón imaginario por un átomo de carbono, y reducimos su tamaño a unas tres cienmilésimas partes, hablamos entonces de un fullereno: en concreto, el  $C_{60}$ . Fue descubierto en 1985 por Richard F. Smalley, Harold Kroto y Robert F. Curl [véase «Fullerenos», por Robert F. Curl y Richard F. Smalley; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 1991], lo que les valió el premio Nobel de química en 1996.

Además de ser el primero en conocerse, el  $C_{60}$  es el fullereno más abundante. Desde su hallazgo, se han sintetizado otras moléculas del mismo tipo ( $C_{70}$ ,  $C_{76}$ ,  $C_{80}$ ,  $C_{82}$ ,  $C_{84}$ , etcétera); contienen todas 12 pentágonos de carbono y un número de hexágonos que varía según el tamaño del «balón». Dado que estos pentágonos y hexágonos pueden ordenarse de múltiples formas, a cada fullereno le corresponde un gran número de isómeros (31.924 en el caso del  $C_{80}$ ); sin embargo, habitualmente se forman y detectan solo uno o dos. Los fullerenos se hallan presentes en el

hollín y en las nubes de polvo cósmico, como productos de las altas presiones y temperaturas.

## Endoédricos y funcionalizados

Si bien poseen propiedades fisicoquímicas interesantes (como una gran afinidad electrónica), los fullerenos en sí tienen pocas aplicaciones prácticas. Ahora bien: modificados, adquieren propiedades moleculares que abren nuevas vías de aplicación en el campo de la biomedicina y la nanotecnología.

Los fullerenos pueden modificarse de dos maneras. Por un lado, mediante la inclusión de un átomo o molécula en el interior de la caja de carbono; se obtiene así un fullereno endoédrico, o endofullereno. Por otro, a través de la reacción con agentes externos, con lo que se obtiene un fullereno funcionalizado. Cuando se combinan las dos opciones, hablamos de un endofullereno funcionalizado.

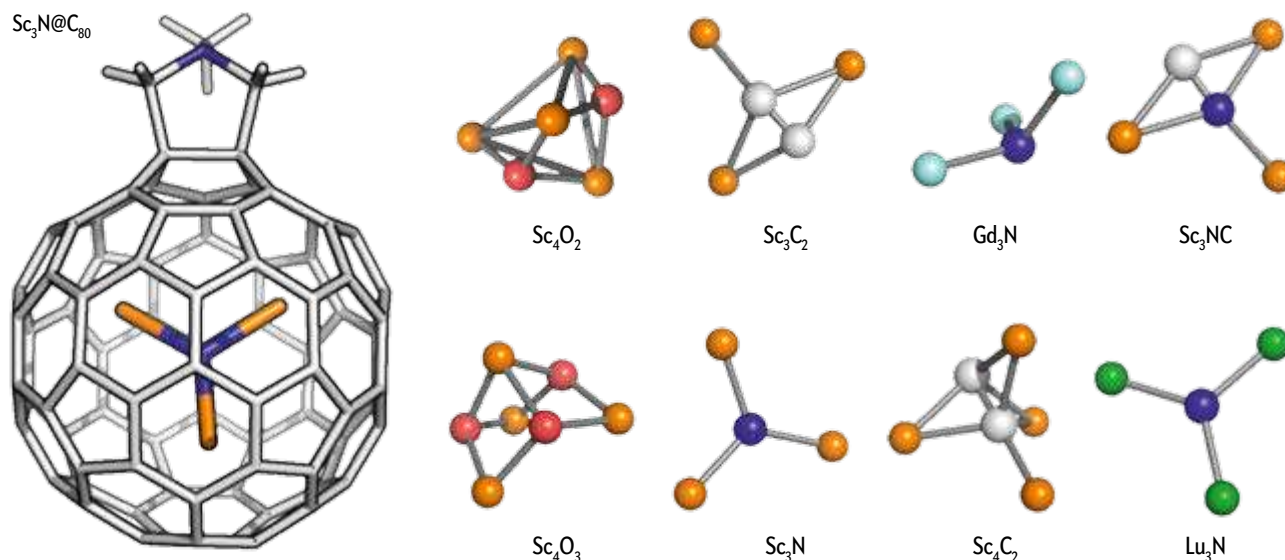
Un método que suele utilizarse para producir fullerenos consiste en enviar una gran cantidad de corriente eléctrica entre dos electrodos de grafito cercanos bajo una atmósfera inerte. El arco de plasma de carbono que se forma entre los elec-

trodos se enfría, generando residuos de hollín que contienen fullerenos.

Para obtener fullerenos endoédricos, se introducen en los electrodos de grafito óxidos, sulfuros o nitruros de metales. Según el material incorporado, se forman diferentes tipos de moléculas. Una de las más abundantes es el  $Sc_3N@C_{80}$ , donde el símbolo @ indica que el  $Sc_3N$  se aloja en el interior de la caja del fullereno  $C_{80}$ . También pueden obtenerse por cirugía molecular: mediante una serie de reacciones químicas se abre un agujero en la superficie del fullereno; se introduce luego una molécula en su interior y, finalmente, se procede a la sutura de la caja fullerénica a través de reacciones que permiten recuperar su estructura inicial. De esta forma se han introducido en fullerenos moléculas de tamaño reducido como  $H_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$  o  $CH_4$ .

## Estabilidad y reactividad

La presencia de moléculas o agregados (*clusters*) metálicos en el interior de la caja de carbono modifica de forma notable las propiedades fisicoquímicas y la reactividad del fullereno. Por ejemplo, el hecho de encapsular una unidad de  $Sc_3N$  dentro del



**UNO DE LOS ENDOFULLERENOS** más abundantes y fáciles de formar es el  $Sc_3N@C_{80}$ : una caja de 80 átomos de carbono con una unidad del agregado metálico  $Sc_3N$  en su interior. La ilustración muestra un  $Sc_3N@C_{80}$  con simetría icosaédrica, funcionalizado mediante una reacción de cicloadición (*izquierda*). Asimismo, se han detectado otros agregados metálicos (*derecha*) encapsulados dentro del  $C_{80}$ .