

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Junio 2011 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

NEUROCIENCIA
Uso judicial
de escáneres
cerebrales

SERPIENTES
Estrategias
avanzadas
de caza

TERREMOTOS
Redes
de alerta
sísmica

La inflación a debate

Profundas grietas
en sus cimientos lógicos
cuestionan la validez
de la cosmología moderna

SELECCIÓN

ARTÍCULOS
ESCRITOS
POR PREMIOS
NÓBEL EN IyC

ESPECIAL



6,00 EUROS

ARTÍCULOS

COSMOLOGÍA

16 **La inflación a debate**

¿Es correcta esta teoría fundamental de la cosmología moderna? *Por Paul J. Steinhardt*

NEUROIMAGEN

24 **La neurociencia en el sistema judicial**

Los escáneres cerebrales quizá transformen nuestras nociones legales de responsabilidad o credibilidad. *Por Michael S. Gazzaniga*

MEDIOAMBIENTE

30 **¿Sobrevivirá el mar Muerto?**

El riego y la minería están secando el lago, pero la colaboración entre Israel, Jordania y la Autoridad Palestina podrían salvar este mar sagrado. *Por Eitan Haddok*

SISMOLOGÍA

36 **Segundos antes del gran temblor**

Un sistema propuesto para California permitiría alertar de un terremoto con antelación suficiente como para salvar vidas. *Por Richard Allen*

BIOLOGÍA

50 **Conmemoración de los Nobel**

Con motivo de la reunión entre laureados y jóvenes investigadores que se celebrará este mes en Lindau, reproducimos fragmentos de artículos publicados por nóbeles en nuestra revista. *Recopilación de Ferris Jabr*

BIOLOGÍA CELULAR

60 **El caos ordenado de las proteínas**

En contra de lo aceptado, las proteínas no necesitarían adoptar formas rígidas para llevar a cabo sus funciones en la célula. *Por A. Keith Dunker y Richard W. Kriwacki*

ARQUEOLOGÍA

68 **La dama de Cao**

El descubrimiento de una tumba de la civilización mochica abre un nuevo capítulo en la arqueología precolombina: la mujer que la ocupaba gobernó ese pueblo a comienzos de nuestra era. *Por Régulo Franco Jordán*

ETOLOGÍA

76 **Un depredador nato**

Letal desde el primer día, la serpiente tentaculada emplea tácticas taimadas para capturar peces, de los que se alimenta de modo exclusivo. *Por Kenneth C. Catania*

ASTROFÍSICA

80 **La formación de estrellas masivas**

Las estrellas mucho mayores que el Sol desempeñan un papel fundamental en la génesis y evolución de las galaxias. Su nacimiento, sin embargo, se encuentra aún envuelto en numerosas incógnitas. *Por María Teresa Beltrán*

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

3 Cartas de los lectores

4 Apuntes

Genómica microbiana. Las primeras grabaciones sonoras. Sinapsis en 3D. ¿Se detendrá la Red el 8 de junio? *Daphnia*, una pulga de agua. El nido de amor de las cacerolas. Epidemiología financiera.

5 Agenda

8 Panorama

Un detector de partículas en el espacio. *Por Manuel Aguilar Benítez de Lugo*

La avutarda. *Por Juan Carlos Alonso*

La diversidad de las campanillas. *Por Cristina Roquet*

Debajo de la zona del mínimo de oxígeno. *Por David Serrano y Michel E. Hendrickx*

42 De cerca

Batea: un arrecife flotante. *Por C. G. Castro, F. G. Figueiras, U. Labarta, M. J. Reiriz y D. Zúñiga*

44 Historia de la ciencia

El señor de la física. *Por Simon Schaffer*

47 Foro científico

Juro decir la verdad. *Por Hank Greeley*

48 Ciencia y gastronomía

La destilación llega a la cocina. *Por Pere Castells*

89 Curiosidades de la física

Del principio de incertidumbre al color del tomate. *Por Norbert Treitz*

92 Juegos matemáticos

¿Qué es la probabilidad? *Por Agustín Rayo*

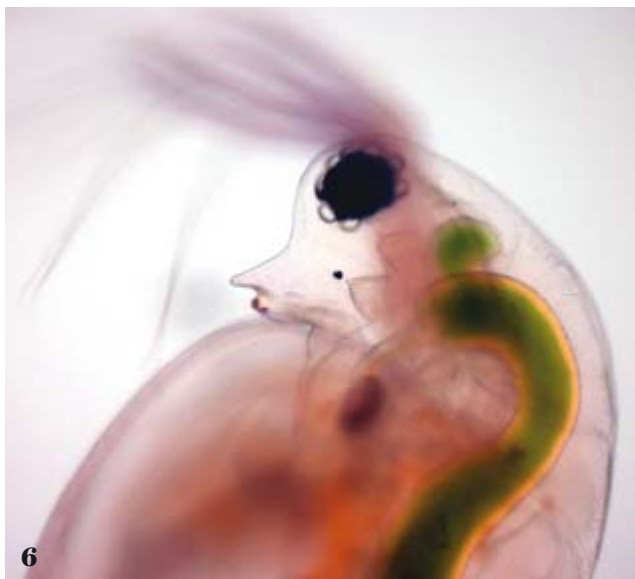
94 Libros

Todo sobre César. *Por Francisco Rodríguez Adrados*

La técnica en la vida diaria. *Por Luis Alonso*

96 Hace...

50, 100 y 150 años.



6



44



92

EN PORTADA

La teoría de la inflación cósmica, uno de los pilares de la cosmología moderna, afirma que la homogeneidad del universo a gran escala se debe a un período de expansión hiperacelerada que habría «estirado» el cosmos justo después de la gran explosión. Ahora, algunos expertos refieren profundas inconsistencias lógicas en los cimientos de la teoría. Ilustración de Malcolm Godwin.





Octubre 2010

GEÓFITOS EN EL CABO

En el artículo «Cuando el mar salvó a la humanidad» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 2010], Curtis W. Marean describe las investigaciones que, junto a su grupo, llevó a cabo en Pinnacle Point, en Sudáfrica. Señala que la vegetación actual de esa región es muy variada e incluye un gran número de especies caracterizadas por tubérculos y bulbos comestibles, estos es, geófitos.

La vegetación en cualquier zona de la Tierra es dinámica, no estática. Cambia a medida que lo hacen el clima y otros factores que no comprendemos. ¿Por qué, habida cuenta de ese dinamismo, podemos suponer que los geófitos también abundaban en la región hace 200.000 años?

FRANK REICHENBACHER
Scottsdale, Arizona

RESPONDE MAREAN: *La presencia de una planta geófita suele asociarse con una adaptación a veranos secos y cálidos, así como a climas áridos. Pero ese no es el caso de los geófitos de la región de El Cabo, ya que su centro se encuentra dominado por lluvias invernales. Toda la zona, lo que incluye el área de fynbos y el Karoo interior, presenta una variedad de geófitos extremadamente rica. A partir de otros indicadores, como la fauna de grandes mamíferos, la de micromamíferos o los espleotemas, podemos afirmar con seguridad que durante los últimos 200.000 años el clima de El Cabo ha sido propicio para los geófitos, incluso*

bajo las condiciones glaciales más severas. De hecho, El Cabo fue con toda probabilidad más seco durante las glaciaciones, por lo que los geófitos se habrían visto incluso más favorecidos que en la actualidad.

POLIESTIRENO Y DIAMANTE

En el apunte «El diamante, ¿joya o mineral?», de Michael Moyer [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2011], me ha sorprendido y desconcertado la equiparación del poliestireno (material orgánico, sintético, relativamente blando, degradable y combustible) con el diamante, el zafiro y la sílice, todos ellos materiales inorgánicos, muy duros y prácticamente indestructibles. El autor debería explicar qué propiedad del poliestireno le permite compararlo con los minerales citados.

RAFAEL OBESO
Monzón, Huesca

RESPONDE MOYER: *La línea en cuestión («Un diamante es para toda la vida. Igual que el zafiro, la sílice y el poliestireno extruido») pretendía llamar la atención sobre el hecho de que el mensaje principal empleado por la industria del diamante bien podría aplicarse a materiales muy diversos. Es cierto que el poliestireno extruido representa un elemento curioso en la lista; aun así, tarda cientos de miles de años en descomponerse. Espero que fuesen más quienes encontraron la comparación divertida que quienes la hallaron problemática.*



Marzo 2011



Abril 2011

UN LENGUAJE, MUCHOS IDIOMAS

En el artículo «Lenguaje y pensamiento», de Lera Boroditsky [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, abril de 2011], parece haber un importante error de traducción. En la versión publicada, los términos «lengua», «idioma» y «lenguaje» aluden indistintamente a un mismo concepto que, correctamente, solo puede ser llamado «lengua» o «idioma», pero en ningún caso «lenguaje». Lera Boroditsky se refiere en todo momento a los sistemas lingüísticos (lenguas) como estimuladores de la cognición humana, pero no a la capacidad comunicativa (lenguaje) que, como se sabe, es universal. Si se trata de un error de traducción, tal vez se haya debido a que en la lengua inglesa no hay distinción terminológica entre ambos conceptos (*language*), mientras que en las lenguas románicas, y en particular en el español, esta sí existe.

OLGA IVANOVA
Salamanca

CARTAS DE LOS LECTORES

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

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

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

Apuntes

MICROBIOLOGÍA

Compartir por igual

Las bacterias y las arqueas, conocidas en conjunto como procariotas, viven casi en todas partes; se dividen sin ningún problema en lugares que van desde el medio ácido del estómago hasta las fuentes termales de las profundidades marinas. Prosperan en sitios tan diversos gracias a la extraordinaria flexibilidad de su genoma: pueden perder genes, alterarlos o duplicarlos casi a voluntad. Se sabe desde hace tiempo que los procariotas adquieren también genes de sus vecinos (una medida que contribuye a la resistencia a los antibióticos). Pero se consideraba que esa estrategia para obtener ADN nuevo, denominada transferencia horizontal de genes, sucedía escasas veces, solo bajo fuertes presiones ambientales, como la exposición a antibióticos potentes.

Un estudio reciente publicado en *PLoS Genetics* ha revelado, en cambio, que los procariotas adquieren genes de microorganismos cercanos con bastante frecuencia. La transferencia, que puede tener lugar cuando un microbio obtiene la información genética de otro a través de un intermediario o un virus, se produce incluso entre procariotas de diferentes especies.

Al compilar una base de datos de 110 genomas de procariotas distintos, Todd J. Treangen y Eduardo P. C. Rocha, del Instituto Pasteur de París, calcularon el número de genes que habían sido adquiridos mediante transferencia horizontal. Sabían que los genes que evolucionan dentro del genoma de un procariota suelen localizarse cerca de genes similares y presentan funciones parecidas a otros. Sin embargo, los genes que llegan por transferencia horizontal aparecen al azar por todo el genoma y a menudo desempeñan funciones muy diferentes. Mediante el análisis de estos dos marcadores importantes, Treangen y Rocha calcularon que los procariotas estudiados habían adquirido entre el 88 y el 98 por ciento de los nuevos genes a través de la transferencia horizontal.

«El estudio demuestra que, en las bacterias, la mayor parte de los genes nuevos proceden de fuentes externas», afirma Howard Ochman, microbiólogo de la Universidad de Yale que no participó en la investigación. Según él, los investigadores debieron obtener la secuencia completa

de varios genomas y emplear una buena dosis de sentido común para seleccionar los datos, gracias a lo cual extrajeron conclusiones realmente sólidas.

Cuando alcanzan su nuevo hogar, los genes transferidos siguen un camino evolutivo diferente al de los genes del genoma que los acoge. Los recién llegados evolucionan más deprisa y son más duraderos; Treangen sospecha que esa conducta se debe a que los genes proporcionan una funcionalidad totalmente nueva y útil.

La transferencia horizontal de genes permite a los procariotas adquirir adaptaciones preexistentes de otros microorganismos, según Treangen, lo que les facilita el establecimiento en nuevos ambientes. Su estudio, afirma, demuestra que la transferencia horizontal constituye la fuerza dominante en la evolución de los procariotas y ayuda a explicar la rápida aparición en las bacterias de resistencias a antibióticos.

—Carrie Arnold

HISTORIA DE LA TÉCNICA

Las primeras grabaciones sonoras

En el siglo IX, unos sabios persas inventaron el primer instrumento mecánico conocido: un órgano que, movido por agua, reproducía la música impresa en un cilindro giratorio. Habrían de pasar 1000 años hasta que alguien alumbrase el proceso inverso: transcribir sonidos sobre una superficie.

La primera máquina que registró música del aire fue el fonógrafo, creado en 1857 por Édouard-Léon Scott de Martinville. El aparato empleaba un cuerno para concentrar el sonido y dirigirlo hacia un pequeño diafragma, desde el que una aguja registraba las ondas sonoras sobre un cilindro de vidrio giratorio recubierto de hollín. Aunque el dispositivo demostró la posibilidad transcribir señales acústicas, no servía para reproducir los sonidos grabados. (Al menos hasta 2008, cuando investigadores del Laboratorio Nacional Lawrence, en Berkeley, descifraron el rayado y resucitaron

un registro de 1860 en el que una voz femenina cantaba *Au clair de la lune*.)

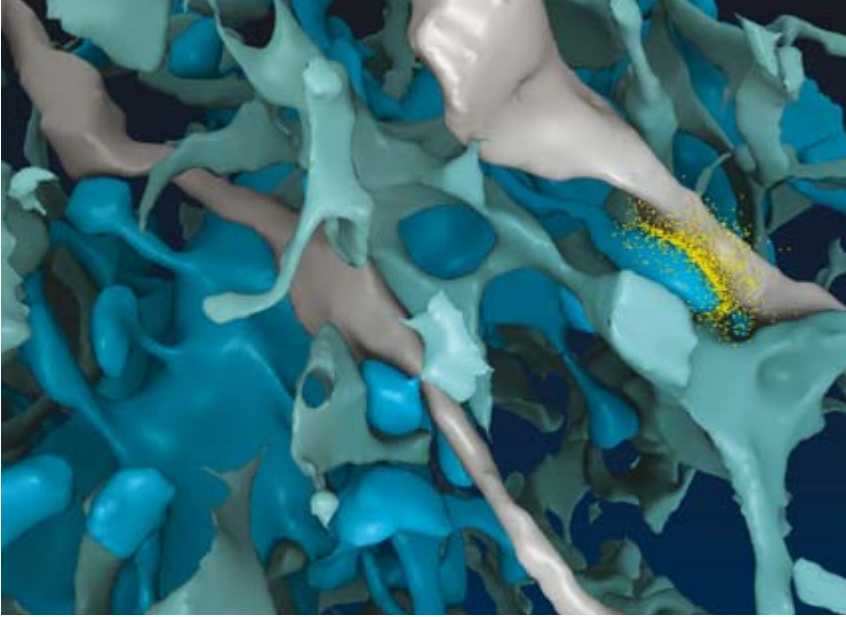
El fonógrafo de De Martinville quedó como una pintoresca curiosidad histórica, pero su diseño de bocina, diafragma, aguja y cilindro supuso el fundamento de toda grabación durante los 70 años siguientes. En 1874, Alexander Graham Bell experimentaba con un sistema muy parecido al de De Martinville, pero que empleaba la oreja de un cadáver. Después, sus esfuerzos se dirigieron al teléfono, ingenio que patentó en 1876. Un año después, Thomas A. Edison (*fotografía*) investigaba la posibilidad de registrar los sonidos del teléfono de Bell cuando se interesó por la posibilidad de grabar el sonido del aire. Su dispositivo, casi idéntico al de De Martinville, registra-

ba las ondas acústicas en papel de aluminio, lo que sí permitía su reproducción posterior. En diciembre de 1877, el mismo mes en que lo patentó, llevó el fonógrafo a las oficinas de *Scientific American* y escribió: «No importa lo familiarizado que pueda estar alguien con las máquinas modernas y sus maravillosas prestaciones... le será imposible escuchar el habla mecánica sin que le asalte la idea que sus sentidos lo están engañando».

—Michael Moyer



WALTER HODGES, CORBIS (arriba), GRANGER COLLECTION (abajo)



NEUROCIENCIA

Señales en una tormenta

Si pudiésemos detener el tiempo por un instante y hacernos lo suficientemente pequeños como para poder distinguir las moléculas cuando una neurona se comunica con otra a través de una sinapsis (el punto de contacto entre ambas) apreciaríamos lo que se observa en la parte derecha de la imagen. La forma en que el cerebro siente, piensa, aprende y expresa las emociones depende del modo en que se transmiten señales las neuronas. De ahí que numerosos laboratorios trabajen febrilmente para comprender el funcionamiento de las sinapsis y la manera en que los medicamentos psiquiátricos, que actúan sobre ellas, mejoran la vida de los pacientes.

Sin embargo, los avances de los neurólogos se topan con grandes dificultades a causa de la enorme complejidad de las sinapsis, de un tamaño inconcebiblemente pequeño y una rapidez extrema. Gracias a los esfuerzos coordinados de más de 1400 tipos de moléculas, una neurona se comunica con otra mediante la liberación de neurotransmisores. Estos atraviesan el estrecho espacio hasta llegar a la superficie receptora de la célula vecina. La única forma de conocer en profundidad lo que sucede en una sinapsis consiste en desarrollar un modelo por ordenador lo más realista posible. Se confía en que al ejecutar una simulación momento a momento y molécula a molécula se obtengan nuevos datos que, posteriormente,

se puedan comprobar de forma experimental.

La imagen generada por ordenador de la figura, creada por el grupo de Tom Bartol, del Instituto Salk de Estudios Biológicos, constituye un primer paso. Representa una pequeña parte de una reconstrucción tridimensional, realizada durante cuatro años, de un minúsculo cubo de tejido nervioso perteneciente a un cerebro de rata. Además de la estructura, la imagen recoge el momento en que una neurona se comunica con otra (*derecha*). Las moléculas de neurotransmisor (*amarillo*) irrumpen en el espacio de sinapsis, el punto de contacto entre un axón de la célula señalizadora (*gris*) y una dendrita de la célula receptora (*azul*). (La estructura de color verde azulado corresponde a una célula que ayuda a que las neuronas desempeñen su función normal).

La simulación de Bartol ha permitido realizar una importante observación: una quinta parte del volumen de esa región del cerebro corresponde a todo el espacio que separa las células vecinas entre sí; un espacio por el que, según parece, los neurotransmisores se propagan extensamente. Esta vasta difusión contradice la imagen estándar de la sinapsis como un lugar donde únicamente se comunican dos neuronas y podría alterar nuestros conocimientos sobre el modo en que se transmite la información en el cerebro.

—Carl Schoonover

CONFERENCIAS

17 de junio

**Lenguaje y cerebro:
¿de dónde vienen las palabras
cuando hablamos?**

F. X. Alario, Laboratorio de Psicología Cognitiva del CNRS
Ciclo «Desafíos del siglo XXI»
Residencia de Investigadores del CSIC
Barcelona
www.residencia-investigadors.es

24 de junio

Avances en biología molecular

Rafael Yuste, Universidad Columbia (Nueva York)
Centro de Biología Molecular Severo Ochoa
Madrid
www2.cbm.uam.es

EXPOSICIONES

El cuerpo humano. Como soy yo

Museo de la Ciencia y de la Técnica de Cataluña
Terrassa (Barcelona)
www.mnactec.cat

Del 3 al 26 de junio

FOTCIENCIAS

Palacio Abacial
Alcalá la Real (Jaén)
museoalcalalareal.com

OTROS

Hasta el 5 de junio - Teatro

Copenhague, de Michael Frayn
Teatro Nacional de Cataluña
Barcelona
www.tnc.cat/es/copenhague



Del 20 al 25 de junio

**Festival STARMUS de astronomía
y música**

En honor a Yuri Gagarin
Tenerife
www.starmus.com

Del 27 de junio al 1 de julio

**4º Campamento internacional
de cielos oscuros**

Parque Astronómico Montsec
Cellers (Lérida)
www.darkskyparks.org

INTERNET

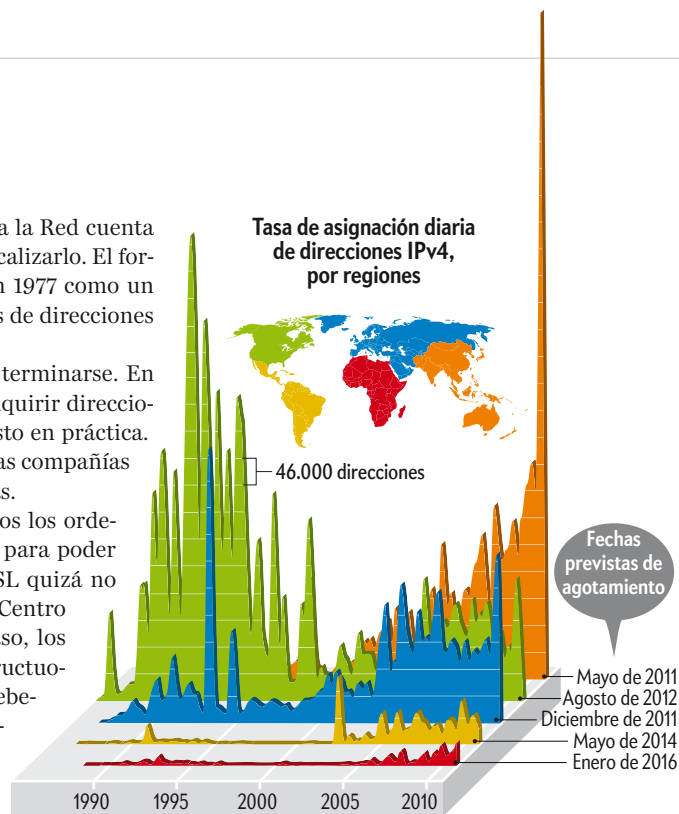
¿Se detendrá la Red el 8 de junio?

Cada ordenador, módem, servidor o teléfono que se conecta a la Red cuenta con una dirección de protocolo de Internet (IP) que permite localizarlo. El formato de esa dirección, conocido como IPv4, fue tipificado en 1977 como un número binario de 32 dígitos. Ello permitía casi 4300 millones de direcciones (2^{32}), una cifra que en aquel momento se antojaba ilimitada.

Ahora, las direcciones IPv4 disponibles están a punto de terminarse. En los últimos años, las empresas del sector han comenzado a adquirir direcciones IPv6, un protocolo de 128 dígitos que aún no ha sido puesto en práctica. Pero eso cambiará el 8 de junio: ese día, Google, Comcast y otras compañías activarán las direcciones IPv6 durante una prueba de 24 horas.

Es probable que la transición no ocasione problemas. Todos los ordenadores, salvo los más antiguos, se encuentran configurados para poder emplear ambos protocolos. Pero los módems por cable o DSL quizá no estén preparados, afirma Geoff Huston, director científico del Centro de Información de Red de la región Asia-Pacífico. En tal caso, los intentos para conectarse a una dirección IPv6 resultarían infructuosos o sufrirían retrasos. Durante algunos años, las empresas deberán emplear ambos formatos, lo que podría enlentecer el servicio. «Antes o después, el IPv6 llegará a ser el formato dominante», señala Huston. Sin embargo, cuándo llegará ese día es algo que aún no sabemos.

—Mark Fischetti



¿QUÉ ES ESTO?

Lo que a simple vista aparenta una mota de polvo, bajo un microscopio resulta mucho más interesante. A cincuenta aumentos, la casi invisible *Daphnia*, una pulga de agua, aparece con «cabellera», grandes ojos y «labios» rojos. Kevin Mackenzie, director del departamento de microscopía e imágenes de la Universidad de Aberdeen, en Escocia, fotografió este invertebrado de charca de dos milímetros de longitud, cuya cabellera corresponde, en realidad, a antenas. El lunar situado debajo de su ojo compuesto (negro) es un ocelo, un órgano sensible a la luz. El cuerpo transparente de la pulga también revela su última comida: algas (verde).

En febrero, un grupo de científicos afirmaron haber secuenciado el genoma de una especie de pulga de agua, *Daphnia pulex*. La secuenciación ayudará a estudiar la forma en que el entorno influye sobre el funcionamiento de los genes, según el director del proyecto, John Colbourne, de la Universidad de Indiana. Hace tiempo que las autoridades municipales monitorizan el tamaño de las poblaciones de *Daphnia* con el fin de identificar una posible contaminación del agua, porque la especie exhibe una sensibilidad extrema a la contaminación. El estudio de las alteraciones de la función génica, señala Colbourne, también proporcionaría nuevos indicios sobre el efecto de ciertos productos químicos en la salud humana.

—Ann Chin

El nido de amor de las cacerolas

Carmela Cuomo pensaba que tenía el secreto al alcance de la mano, escondido en un acuario negro y somero del Laboratorio de Pesquerías Marinas de la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano de EE.UU., en Milford, Connecticut. Los xifosuros, o cacerolas de las Molucas, que había recolectado del puerto de New Haven en 2000 se apresuraban en su ritual primaveral: excavaban agujeros en la arena, ponían huevos y los fecundaban. Intentaba conocer la combinación de luz, alimento y propiedades químicas que favorecían la cría en esos animales de 500 millones de años de antigüedad. Pero al año siguiente, antes de poder averiguarlo, los xifosuros dejaron de aparearse y el secreto se le escapó.

Cuomo, ambientóloga de la Universidad de New Haven, continuó buscando la respuesta durante diez años en los acuarios de Milford, en laboratorios de su universidad y en una serie de acuarios en el sótano de su casa. Ahora, finalmente, ha empezado a desentrañar el misterio.

La resolución de esa incógnita tendrá implicaciones prácticas importantes. Nadie, como no sea por accidente, ha conseguido que las cacerolas de las Molucas se apareen en cautividad. Si se ideara una manera de criarlos, las poblaciones naturales de estos arácnidos, distribuidas a lo largo de la costa atlántica de los Estados Unidos y en Asia oriental, se verían libres de la presión que sobre ellas se ejerce. Las industrias farmacéuticas y de productos médicos valoran estos artrópodos acorazados porque una sustancia coagulante que extraen de su sangre representa el estándar mundial para detectar las mortíferas bacterias gramnegativas. Sus huevos son también una fuente de alimento vital para las aves litorales migratorias. Y una enorme industria pesquera los utiliza como cebo.



Cuando las cacerolas de Cuomo no se aparearon en 2001, la investigadora se dedicó a reproducir las mareas, alterar el ángulo de sus playas artificiales y cambiar el alimento de los animales. Cada año modificaba los parámetros, pero nada funcionaba. Después, en 2007, en una conferencia internacional sobre cacerolas de las Molucas, Cuomo oyó que un anciano investigador japonés hablaba de criar a xifosuros en tierra extraída de la playa en la que se habían puesto los huevos. Se dio cuenta entonces del error de sus experimentos: no había empleado arena natal. El único año que había conseguido que los xifosuros se reprodujeran había tomado para su acuario la arena y los arácnidos del mismo lugar. Lo intentó de nuevo... y las cacerolas se aparearon, no solo en la estación habitual, a finales de primavera, sino hasta el mes de octubre. La investigadora ha repetido el proceso, con igual éxito.

Ahora, impulsada por su curiosidad innata, Cuomo intenta develar otras incógnitas: ¿Qué hay en la arena que resulte tan importante para la reproducción de los xifosuros? ¿Cómo lo notan los animales? Y, por último, ¿puede ella ayudar a salvar a la especie?

—David Funkhouser

ECONOMÍA

Demasiado contagioso como para permitirse quebrar

¿Qué puede enseñarnos la epidemiología sobre la crisis financiera de 2008? Muchas cosas, según Robert M. May, ecólogo de la Universidad de Oxford, y Andrew G. Haldane, director ejecutivo de estabilidad financiera del Banco de Inglaterra. En un artículo reciente, han comparado los grandes bancos, como Lehman Brothers, con lo que los epidemiólogos llaman «superdiseminadores», personas u organismos infectados que ponen en peligro a poblaciones enteras.

Para evitar otro cataclismo bancario, los reguladores financieros podrían tener que dirigir su atención hacia la salud de las redes y no solo hacia la de cada uno de los bancos, señala May. Al preocuparse por el conjunto de conexiones que emana de las actividades financieras, los banqueros estarían siguiendo una



senda que, entre otros, ya abrieron los informáticos para lograr sistemas modulares (en los que, gracias a la ayuda de cortafuegos, se evita que la infección en un elemento se propague por todo el sistema). Según Philip H. Dybvig, economista de la Universidad de Washington en San Luis, lo que proponen es, en realidad, una versión de la ley Glass-Steagall, una ley que separó los bancos de inversiones de los comerciales en EE.UU. y que fue revocada en 1999. ¿Toman nota los banqueros? May cita la llamada regla Volcker —propuesta hace poco a fin de blindar los fondos de alto riesgo y de capital privado con respecto a otras actividades bancarias— como una señal de que los banqueros pueden estar empezando a pensar como epidemiólogos.

—Carla Power

Panorama

Contador de anticoincidencias

Finalidad: Identificar las partículas que entran desde el lateral.
Diseño: Cilindro formado por 16 placas de un plástico centelleador que emite luz al paso de partículas cargadas.
Funcionamiento: Las partículas deben recorrer toda la longitud del instrumento para que todos los detectores reúnan los datos necesarios. Este dispositivo registra las partículas que entran desde un lado, de manera que el sistema de control pueda eliminar la señal que dejen en los restantes detectores.

Detector de radiación de transición

Finalidad: Distinguir entre partículas cargadas electromagnéticas y hadrónicas (electrones frente a antiprotones, o positrones frente a protones).
Diseño: 20 capas de tubos de deriva intercaladas con 20 capas de fibras de polietileno y polipropileno (radiador).
Funcionamiento: Cuando una partícula de masa baja atraviesa las fibras, emite rayos X; estos son detectados por la fila de tubos llenos de gas que se encuentran debajo.

Partículas con carga negativa

Partículas con carga positiva

Contador de tiempo de vuelo 2

Calorímetro electromagnético

Finalidad: Medir la energía y dirección de las partículas electromagnéticas (electrones, positrones, fotones).
Diseño: Capas de láminas de plomo unidas con resina epoxi y con fibras ópticas incrustadas.
Funcionamiento: Cuando una partícula golpea contra el material, produce una cascada de partículas cuyo estudio permite identificar la partícula original. Al contrario que otros instrumentos, el calorímetro también registra partículas sin carga, como los fotones.

Detector de radiación de Cherenkov RICH

Finalidad: Medir la velocidad y carga eléctrica de las partículas cargadas.
Diseño: Aerogel de silicio y fluoruro de sodio (radiador), plano de 680 fotomultiplicadores (10.880 fotosensores), reflector cónico.
Funcionamiento: La velocidad de la luz es un 5 por ciento menor en el aerogel que en el vacío y, en el fluoruro de sodio, un 23 por ciento más lenta. Cuando una partícula atraviesa un medio a una velocidad superior a la de la luz en dicho medio, emite un cono característico de radiación azulada, conocida como radiación de Cherenkov.

Un detector de partículas en el espacio

El experimento AMS estudiará los rayos cósmicos en busca de antimateria cósmica primaria, materia oscura y nueva física

Contador de tiempo de vuelo 1

Finalidad: Medir la velocidad y carga de las partículas.

Diseño: Láminas de un polímero transparente que brilla al paso de una partícula cargada.

Funcionamiento: Los detectores miden el tiempo que tarda una partícula en recorrer la longitud del instrumento.

Imán

Finalidad: Curvar la trayectoria de las partículas cargadas.

Diseño: Imán permanente con un campo de 0,15 tesla. Sustituye al imán superconductor criogénico del diseño original, lo que dotará al instrumento de un tiempo de vida mucho mayor.

Funcionamiento: Al pasar, las partículas se desvían hacia un lado u otro según el signo de su carga eléctrica.

Detector de trazas de silicio

Finalidad: Medir la carga y el momento de las partículas.

Diseño: Nueve planos de detectores de partículas.

Funcionamiento: Los detectores rastrean la trayectoria de las partículas cuando atraviesan el campo magnético.

El pasado 16 de mayo partió desde Cabo Cañaveral con rumbo a la Estación Espacial Internacional (ISS) la misión STS-134 de la NASA, la última del transbordador espacial *Endeavour*. A bordo viajaba el Espectrómetro Magnético Alpha (AMS-02). Tres días después, el dispositivo era instalado con éxito en la ISS (*abajo*), donde permanecerá hasta que esta se retire de su órbita, en 2028.

El AMS-02 es un detector de partículas —un dispositivo como los empleados en el Gran Colisionador de Hadrones del CERN— adaptado al agresivo entorno espacial. Con un tamaño de $5 \times 4 \times 3$ metros, unas 7,5 toneladas de peso y un consumo superior a los 2000 vatios (proporciones gigantescas para los estándares del programa espacial), su objetivo consistirá en estudiar los rayos cósmicos durante un largo período de tiempo. La ausencia de contaminación atmosférica de la que se beneficia la órbita de la ISS y la avanzada tecnología de los detectores del AMS-02 harán posible estudiar, con un detalle sin precedentes, la masa, carga eléctrica y energía de las partículas y núcleos atómicos que llegan a la Tierra desde el espacio exterior. Gracias a ello, se espera que el instrumento detecte trazas de antimateria cósmica primaria, señales de materia oscura y, tal vez, fenómenos nuevos, como la existencia de la denominada materia extraña.

Equipado con 300.000 canales electrónicos y 650 microprocesadores, el AMS-02 contará con una resolución espacial de 10 micrómetros y una resolución temporal de 150 picosegundos ($150 \cdot 10^{-12}$ segundos). El elemento principal del detector es un imán permanente, el cual envuelve a un avanzado detector de trazas compuesto por varios planos de sensores de silicio. La fiabilidad de los componentes y la redundancia de los elementos críticos son esenciales en todo instrumento espacial. En el AMS-02, diversos subsistemas complementarios, basados en principios físicos diferentes (radiación de transición, efecto Cherenkov, calorimetría, etcétera) proporcionarán medidas redundantes de las características de los rayos cósmicos que lo atraviesen.

La construcción del AMS-02 ha corrido a cargo de una colaboración internacional dirigida por el premio nóbel Samuel C. C. Ting, del Instituto de Tecnología de Massachusetts. El proyecto, en el que han participado unos 600 expertos procedentes de 60 institutos y centros de investigación de 16 países, ha sido liderado por Estados Unidos, Italia, España, Alemania, Suiza, Francia, Taiwán y China.

La participación española ha sido coordinada por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT); en ella han tomado parte, además, el IAC, CEDEX e INTA, y las empresas CRISA-EADS e IberEspacio. Sus objetivos han sido varios. Por una parte, el diseño, construcción y validación del detector de radiación de Cherenkov RICH, encargado de medir con precisión la velocidad y la carga eléctrica de las partículas y núcleos atómicos. Nuestro grupo del CIEMAT dirigió todas las fases del proyecto; en particular, la integración con el resto del instrumental y las pruebas de funcionalidad y verificación de prestaciones. Nuestra colaboración también se encargó del diseño, construcción y validación del sistema electrónico de control del imán superconductor, la opción contemplada cuando el proyecto AMS fue aprobado en 1995. Ello limitaba tres años el tiempo de permanencia del instrumento en la Estación Espacial, por lo que después se optaría por el imán permanente. No obstante, la experiencia acumulada en criogenia y



superconductividad será de gran utilidad para el desarrollo de futuras misiones espaciales tripuladas de larga duración. Por último, nuestro grupo ha contribuido a la gobernanza de la colaboración AMS al asumir la responsabilidad de las relaciones con otras instituciones, en particular con el CERN, lo que permitió su integración en este organismo, la construcción del centro de ope-

raciones y control, así como el del equipamiento de un centro de operaciones científicas.

El Espectrómetro Magnético Alpha permitirá investigar cuestiones científicas de máxima relevancia, algo solo posible gracias a su potente y robusta instrumentación y a las condiciones experimentales óptimas que ofrece el entorno de la Estación Espacial Internacional. Con él se

inicia una nueva era en el estudio de la radiación cósmica cargada que, confiamos, conducirá a la obtención de resultados científicos tan relevantes como los hallados con la componente neutra de la misma.

—Manuel Aguilar Benítez de Lugo
y grupo AMS del CIEMAT
Departamento de investigación básica
CIEMAT, Madrid

LA JOYA DE LA CORONA DE LA ESTACIÓN ESPACIAL

Construir el detector de rayos cósmicos más avanzado del mundo ha costado 16 años y unos 1500 millones de euros. Sin embargo, hasta hace no mucho parecía que acabaría olvidado en un almacén: la NASA, que tenía en mente terminar la construcción de la Estación Espacial Internacional (ISS) y jubilar el transbordador hacia finales de 2010, sostuvo en un principio que no había hueco en el calendario para acomodar el lanzamiento del detector. Fue necesaria una campaña de presión por parte de los físicos y la intervención del Congreso estadounidense para extender el programa del transbordador.

Ningún otro instrumento cuenta con una combinación de detectores que permita medir todas las propiedades de las partículas: masa, velocidad, tipo y carga eléctrica. Su predecesor es el experimento PAMELA, puesto en órbita en 2006 por un consorcio europeo. PAMELA ha detectado lo que podrían constituir indicios de materia oscura y otros fenómenos exóticos, pero sus descubrimientos adolecen de cierta ambigüedad, ya que el experimento no logra distinguir entre antipartículas de poca masa, como los positrones, y partículas ordinarias de masa elevada pero con la misma carga eléctrica, como el protón.

En un caso extraño de simbiosis, el AMS y la ISS han acabado por justificarse el uno al otro. La ISS proporcionará la gran potencia que requiere el instrumento y los desplazamientos orbitales necesarios. El espectrómetro, por su parte, aunque nunca podrá aplacar el escepticismo que muchos sienten hacia la estación, garantizará que gracias a ella se consigan resultados científicos de primer orden. Al igual que el Gran Colisionador de Hadrones del CERN sondea las profundidades de la naturaleza desde la Tierra, a partir de ahora el AMS hará lo mismo en órbita.

—George Musser



El pasado 16 de mayo, el transbordador espacial Endeavour ponía rumbo hacia la Estación Espacial Internacional con el experimento AMS a bordo. Entre los objetivos del detector de rayos cósmicos más avanzado del mundo se incluye confirmar la existencia de materia oscura.

FAUNA

La avutarda

Evolución y limitaciones de un peso récord entre las aves voladoras

Junto a la avutarda Kori, su pariente africana, y seguida de cerca por el cisne común y el cóndor de los Andes, la avutarda común es el ave voladora de mayor peso del planeta. Especies mayores, como el avestruz, ñandú, emú y casuario, sobreviven aún en las llanuras de África, Sudamérica y Australia, aunque, debido a su gran tamaño, han perdido ya la capacidad de vuelo. La avutarda común es además el ave de mayor dimorfismo sexual en

peso: los machos alcanzan entre 11 y 12 kilogramos (en algunos casos superan los 15 kilogramos); las hembras no suelen pasar de los 5 kilogramos.

El gran tamaño de los machos de avutarda es el resultado de una intensa selección sexual, proceso evolutivo que les ha llevado a crecer hasta el límite de lo viable para poder seguir disfrutando de la posibilidad de volar y evitar así ser víctimas de sus grandes depredadores:

las águilas, los lobos y el hombre. Mecanismos biológicos como la gran competencia entre rivales, o la cuidadosa elección de pareja por las hembras, han favorecido a lo largo de millones de años a los machos de mayor tamaño. Sin otro cometido que el de acaparar el mayor número de apareamientos con las hembras de la zona en la que viven, y en ausencia de defensas como las cuernas de los ciervos o los colmillos de focas y

NASA

elefantes, los machos de avutarda han desarrollado como única arma su propio peso, crítico en los combates cuerpo a cuerpo que tienen lugar en primavera, que pueden llevar al agotamiento físico, e incluso a la muerte, de uno de los contendientes. Menos de la mitad de los machos de un grupo reproductivo logrará fecundar alguna hembra; la mayor parte de estas serán cubiertas por solo unos pocos machos. Estos machos dominantes conservarán su rango de un año a otro, hasta que sus fuerzas flaqueen y algún individuo mejor preparado les arrebatte el puesto en el grupo.

Como la naturaleza no acostumbra derrochar energía, ha provisto a los machos de avutarda de unas plumas especiales, las barbas, que crecen a ambos lados de la base del pico. La cantidad y longitud de las barbas informan a otros individuos del grupo acerca del peso y, por tanto, del poderío físico de su portador, lo que contribuye a evitar más combates de los estrictamente necesarios. Otras plumas de la base del cuello o gola son indicadores de la edad, carácter aparentemente muy valorado por las hembras a la hora de elegir al que será padre de sus hijos. Padre solo biológico, ya que los cuidados de la prole recaerán exclusivamente en ella, sin participación alguna del macho, que abandonará la zona de reproducción tras las cópulas para reponer energías y prepararse para el siguiente ciclo reproductor.

Sin embargo, no todo podían ser ventajas. Un tamaño grande implica también inconvenientes, ya desde el nacimiento. El rápido crecimiento necesario para asegurar de adulto un tamaño máximo supone unas necesidades alimentarias que muchas veces la hembra no puede asegurar al polluelo. Ello determina una mayor mortalidad en los machos jóvenes respecto a las hembras jóvenes, una diferencia que se sigue manteniendo a lo largo de toda la vida, de entre ocho y diez años en promedio. A la madre le cuesta mucho más criar a un hijo que a una hija, pero el mayor coste de sacar adelante a un macho puede verse recompensado por un mayor número de nietos, si el macho resulta ser uno de los pocos exitosos.

El mayor tamaño de los machos también los obliga a abandonar en verano los lugares de cría excesivamente calurosos de la España mediterránea, para dirigirse a lugares más frescos y tranquilos del norte peninsular, con los riesgos que dichas migraciones conllevan. Tales ries-



La compleja exhibición del plumaje durante el celo permite al macho de avutarda mostrar a los competidores su poderío físico. Las hembras valoran la calidad del macho basándose en el aspecto de su plumaje.

gos quedan patentes en la mayor mortalidad del sexo masculino a lo largo de toda su vida, lo que determina que en todas las poblaciones de avutardas haya más hembras que machos. Entre las causas de mortalidad destaca la producida por choque contra tendidos eléctricos, hoy por hoy la causa de muerte más importante que amenaza a la especie. Las aves en vuelo no ven los cables, o los ven demasiado tarde, y colisionan contra ellos, quebrándose alas, patas o cuello, lo que finalmente les ocasiona la muerte. De nuevo, esta falta de maniobrabilidad resulta también más patente en los machos, debido a su mayor peso e inercia durante el vuelo.

Amenazas y conservación

El tamaño de los machos los ha convertido desde antaño en apetecida presa de uno de sus principales depredadores, el hombre. Al principio, solo para aprovechar su abundante carne, como atestiguan las representaciones de esta especie entre las pinturas rupestres del gaditano Tajo de las Figuras, o los restos de hace 300.000 años hallados en Atapuerca. Más

tarde, desde la aparición de las armas de fuego hasta la total veda de la especie a finales del siglo pasado, como trofeo cinegético. Ha sido la caza selectiva de los machos más grandes, los *barbones*, la que probablemente ha contribuido en numerosos casos no solo a una eliminación de los adultos más vigorosos y de mayor edad, los preferidos por las hembras, sino a la total extinción de grupos enteros. En la actualidad, el relevo de esta antigua amenaza lo han tomado las transformaciones agrícolas y los abusos del medio por parte del hombre, en su desmedida expansión urbanística. A pesar de estas agresiones, que en Europa y Asia han acabado con muchos núcleos avutarderos, en España contamos aún con una población saludable (unos 30.000 individuos) que esperamos pueda sobrevivir a pesar del desarrollo humano.

Esos y otros datos sobre la biología de esta majestuosa especie son el resultado de un proyecto de investigación (www.proyectoavutarda.org) que viene desarrollándose desde hace dos décadas en el departamento de ecología evolutiva del Museo Nacional de Ciencias Natura-