

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Abril 2013 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

COMPUTACIÓN
Algoritmos
de aprendizaje
automatizado

CAMBIO GLOBAL
Funciones
del bosque
mediterráneo

COSMOLOGÍA
Púlsares
y ondas
gravitacionales

Las **NEURONAS** de la **MEMORIA**

**¿Cómo se organizan
las células que almacenan
nuestros recuerdos?**



6,50 EUROS





82

ARTÍCULOS

NEUROCIENCIA

18 El archivo de la memoria

Cada concepto, persona o elemento de nuestra vida cotidiana podría tener asignado un grupo de neuronas. *Por Rodrigo Quián Quiroga, Itzhak Fried y Christof Koch*

ASTROGEOLOGÍA

24 Meteoritos primitivos

El análisis microscópico de las condritas, las rocas más antiguas del sistema solar, nos informa del aspecto que presentaba nuestro vecindario cósmico antes de que se formasen los planetas. *Por Alan E. Rubin*

EVOLUCIÓN HUMANA

30 Una historia intrincada

Nuevos descubrimientos de fósiles complican aún más la identificación de nuestros antepasados más remotos. *Por Katherine Harmon*

CLIMA

38 La corriente del Golfo y el invierno europeo

¿Es el flujo de aguas cálidas tropicales lo que provoca que Europa experimente inviernos relativamente benignos? Quizá no. *Por Stephen C. Riser y M. Susan Lozier*

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

50 Técnicas de aprendizaje automatizado

Ciertos algoritmos permiten que las máquinas aprendan y «piensen». Cada vez más a menudo, sus predicciones superan a las de los expertos. *Por Yaser S. Abu-Mostafa*

ECOLOGÍA

54 El bosque mediterráneo ante el cambio global

Las alteraciones ambientales que experimenta nuestro planeta afectan a las comunidades forestales, pero estas también responden e interactúan con los factores del cambio global. *Por Enrique Doblas Miranda*

MEDICINA

62 El mito de los antioxidantes

Nuevos experimentos contradicen ideas tan veneradas como que el daño oxidativo provoca el envejecimiento o que las vitaminas podrían preservar nuestra juventud. *Por Melinda Wenner Moyer*

PSICOLOGÍA

68 La sabiduría de los psicópatas

Podemos aprender mucho de los psicópatas. Algunos aspectos de su personalidad e intelecto resultan, a menudo, marcas distintivas del éxito. *Por Kevin Dutton*

ASTROFÍSICA

72 Púlsares y ondas gravitacionales

Gracias a las señales emitidas por algunas estrellas de neutrones, los astrónomos esperan confirmar pronto una de las predicciones más robustas de la teoría de la relatividad. *Por Michael Kramer y Norbert Wex*

SOCIOBIOLOGÍA

82 Juegos de caparzones

Como el hombre, los cangrejos ermitaños y otros animales prosperan al aprovecharse de los bienes que otros dejan. *Por Ivan Chase*

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

3 Cartas de los lectores

4 Apuntes

Negocios sucios. La teoría de los anillos. Un método para cultivar coral. Siestas espaciales. Efecto del deporte en el cerebro. Escarabajos xilófagos.

7 Agenda

8 Panorama

Riesgos en alza. *Por Fred Guterl*
Nuevos indicios de la existencia de ondas gravitacionales. *Por Carlos Allende Prieto*
Cables eléctricos bacterianos. *Por Gemma Reguera*
Importación y exportación del agua. *Por Mark Fischetti*
Rayos láser tractores. *Por Juan José Sáenz*
Proteómica dirigida. *Por Allison Doerr*
¿Cuáles son los seres vivos más longevos?
Por Fred Guterl

44 De cerca

Espumas y mucílago marinos. *Por Nagore Sampedro y Laura Arin*

46 Historia de la ciencia

Una industria de los orígenes. *Por Oliver Hochadel*

48 Foro científico

La espiral de muerte del Ártico. *Por Peter Wedhams*

86 Curiosidades de la física

El fundíbulo del futbolista. *Por Jean-Michel Courty y Édouard Kierlik*

88 Juegos matemáticos

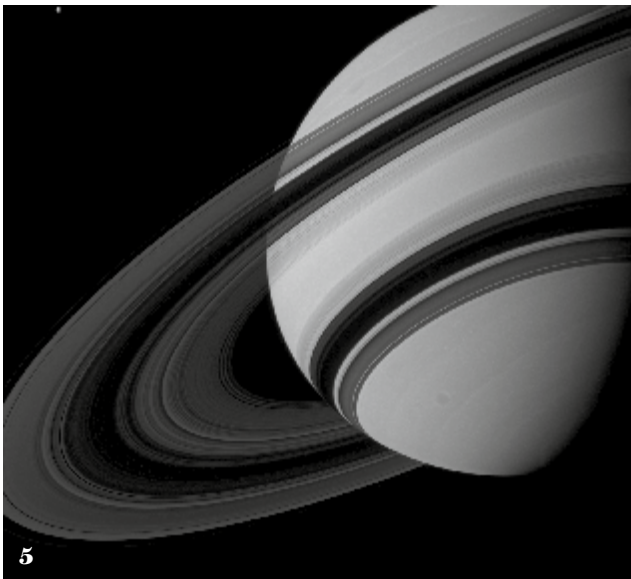
Eventos posibles de probabilidad cero.
Por Alejandro Pérez Carballo

90 Libros

Aprendizaje y memoria. *Por Luis Alonso*
Búsqueda sin término. *Por Miguel Huíneman de la Cuadra*
No todo está en los genes. *Por Toni Gabaldón*
Teoría de la evolución. *Por Luis Alonso*

96 Hace...

50, 100 y 150 años.



EN PORTADA

Conocer el modo en que el cerebro codifica los recuerdos constituye desde hace tiempo uno de los grandes misterios de la ciencia. Algunos estudios han demostrado que cuando pensamos en una persona conocida se activan grupos reducidos de neuronas. Esta arquitectura neural hace que el cerebro funcione con mayor eficacia que si cada recuerdo estuviera distribuido a lo largo de muchos millones de neuronas. Imagen de Jean-François Podevin.





Septiembre y octubre 2012

CONTROL DEL VIH

En «El secreto de los controladores de élite» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2012], Bruce D. Walker relata que Bob Massie, cuyo sistema inmunitario había logrado mantener el VIH bajo control, fue sometido a un trasplante de hígado. Si a consecuencia de ello se viese obligado a tomar fármacos inmunodepresores, ¿no supondrían estos una amenaza para sus linfocitos T coadyuvantes y, por tanto, para el control del VIH?

CHARLES CAPWELL

RESPONDE WALKER: *Massie comenzó a tomar medicación contra el VIH a fin de asegurar que los fármacos inmunodepresores no ponían en peligro su capacidad para controlar el virus.*

¿QUIÉN ES EL HUÉSPED?

En «La benevolencia de los agujeros negros» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 2012], Caleb Scharf habla sobre los agujeros negros supermasivos que residen en el interior de las grandes galaxias, como ocurre en la Vía Láctea. Pero ¿estamos seguros de cuál es el anfitrión y cuál el «invitado»?

FRANCIS JONES
Amarillo, Texas

RESPONDE SCHARF: *Dos de los mayores misterios relativos a los agujeros negros supermasivos atañen a su procedencia y al momento en que se formaron. Existen datos que muestran con claridad que dichos agujeros negros datan de la época en que comenzaron a gestarse las galaxias y las*

estrellas. Por tanto, se diría que ya habitaban en el seno de las galaxias o en los grandes fragmentos de materia que se estaban agregando para formar galaxias aún mayores. Parece improbable que los mayores de estos objetos hayan tenido tiempo de crecer a partir de agujeros negros menores, con masas próximas a la de una estrella, lo que sugiere que ya desde sus inicios hubieron de presentar un tamaño considerable.

Una de las teorías propuestas para describir su formación sostiene que, en un universo joven y pobre en elementos químicos, las condiciones reinantes en las regiones densas del interior de las galaxias podrían haber provocado el nacimiento de agujeros negros con masas comprendidas entre 100.000 y un millón de masas solares. Después estas «semillas» podrían haber crecido con rapidez mientras la galaxia se agrupaba y la gravedad atraía materia fría del universo circundante. Por tanto, la relación entre una galaxia y su agujero negro supermasivo tal vez pueda describirse como «simbiótica».

EFFECTO MPEMBA

En las distintas explicaciones sobre los motivos por los que el agua caliente se congela antes que la fría [«Golpe frío al calor», por J.-M. Courty y É. Kierlik; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 2012] no recuerdo haber visto ninguna que considerase el papel de los puentes de hidrógeno. El agua caliente posee menos de estos enlaces, por lo que sus moléculas serían «piezas de puzle» más fáciles de ensamblar que las del agua fría. En esta última, los puentes de hidrógeno dificultarían que las moléculas encajasen durante la formación de los cristales de hielo.

ALBERTO BELLIDO DE LA CRUZ
Málaga

RESPONDE KIERLIK: *La pregunta de nuestro lector se basa en la posibilidad de interpretar el efecto Mpemba en términos de la estructura del agua líquida. Dicha explicación ha sido propuesta por D. Auerbach («Supercooling and the Mpemba effect», American Journal of Physics, vol. 63, núm. 10, 1995) y por M. Chaplin (www.lsbu.ac.uk/water/abstrct.html).*

La estructura del agua varía de manera considerable con la temperatura. Justo por encima de los 0 °C, sus moléculas se hallan fuertemente ligadas por puentes de hidrógeno y forman agregados icosaédricos difi-

cilmente compatibles con la estructura del hielo ordinario. A medida que la temperatura aumenta, los puentes de hidrógeno se debilitan por efecto de la agitación térmica. Una consecuencia sería que el sobreenfriamiento del agua (la persistencia de la fase líquida a temperaturas inferiores a 0 °C) resultaría menor cuando el proceso se inicia con agua caliente, por lo que esta se convertiría en hielo a una temperatura más elevada que el agua fría (aunque siempre inferior a 0 °C) y así se explicaría que congelese antes. M. Balážovič y B. Tomášik resumen esta y otras posibilidades en «The Mpemba effect, Shechtman's quasicrystals and student exploration activities», Physics Education, vol. 47, 2012.

Nos mostramos poco convencidos por semejante interpretación. Esta no toma en cuenta que el enfriamiento del agua corresponde a un proceso lento. En un congelador ordinario, un litro de agua fría tarda horas en convertirse en hielo. Resulta difícil creer que en ese tiempo las moléculas no puedan reorganizarse, establecer puentes de hidrógeno y formar los agregados icosaédricos mencionados. (Como referencia, para obtener agua vítrea —sólida pero de estructura amorfa— a partir de agua líquida, se requieren velocidades de enfriamiento del orden de 10⁶ kelvin por segundo.) No hay razón para pensar que, en torno a los 0 °C, el agua que comenzó el proceso a mayor temperatura deba exhibir una estructura diferente de la que lo hizo estando fría. Hemos de confesarlo: para nosotros, el efecto Mpemba continúa siendo un misterio.

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.

Erratum corrige

En el artículo del mes de marzo «El lado oscuro de las nuevas tecnologías», de Alfredo Rodríguez Muñoz, se decía que la red social Facebook contaba con más de «un billón» de usuarios. La cifra correcta es mil millones.



MEDIOAMBIENTE

Negocios sucios

La región septentrional de Alberta alberga arenas bituminosas, un vasto depósito de un petróleo espeso y pesado cuya producción resulta de las más nocivas en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero. En el último decenio, Canadá se ha convertido en el principal proveedor de petróleo importado de los Estados Unidos, por delante de Arabia Saudí. Más de la mitad de ese petróleo proviene de esa reserva, del tamaño del estado de Florida, el único lugar del mundo en el que el crudo se obtiene de minas y no de perforaciones. Si el presidente Barack Obama aprobase la construcción del oleoducto Keystone XL, el flujo hacia los Estados Unidos de petróleo de arenas bituminosas (bitumen) aumentaría.

Obtener más petróleo de Canadá resulta políticamente ventajoso, porque reduce la dependencia de Estados Unidos con respecto a la OPEP. El bitumen, sin embargo, hace pagar un alto precio al ambiente. En comparación con el petróleo árabe tradicional, emite el doble de gases de efecto invernadero por barril, debido a los recursos necesarios para procesarlo. Aunque tiene un rendimiento energético neto positivo, ya que proporciona entre 7 y 10 unidades térmicas británicas (BTU) de energía por cada BTU que se invierte en las arenas bituminosas, el rendimiento es menor que el del petróleo obtenido de forma tradicional. Una vez que se extrae el material, el bitumen requiere grandes cantidades de agua calentada con gas para derretirlo y separarlo de los granos de arena a los que se halla unido. En ese momento, el bitumen sigue siendo demasiado espeso para fluir, por lo que debe manipularse químicamente con calor y

presión para convertirlo en petróleo bruto amarillento, gasóleo, combustible para reactores u otros hidrocarburos típicos. También puede diluirse con hidrocarburos ligeros líquidos para transformarlo en «dilbit» («bitumen diluido») de color negro, que puede transportarse por oleoducto hasta los Estados Unidos.

Algunos ambientalistas consideran que la explotación de las arenas petrolíferas podría llevar el calentamiento global a un punto de inflexión desastroso. En un análisis sobre la forma de restringir el calentamiento hasta un máximo de dos grados centígrados por encima de los niveles preindustriales, la Agencia Internacional de la Energía sugirió que la producción de arenas bituminosas no debería superar los 3,3 millones de barriles al día. Pero la producción aprobada supera hoy los cinco millones de barriles al día, un hecho que según James Hansen, climatólogo de la NASA, está llevando al límite el cambio climático.

Aun así, el verdadero desafío consiste en reducir el uso de todos los combustibles fósiles, no solo del petróleo. Las centrales térmicas de carbón de los Estados Unidos producen diez veces más dióxido de carbono que las arenas petrolíferas de Alberta. Si bien las emisiones de esas centrales han comenzado a disminuir, la Asociación Canadiense de Productores de Petróleo señala que la contaminación de dióxido de carbono procedente de arenas petrolíferas ha aumentado un 36 por ciento desde 2007. Mientras los Estados Unidos sopesan la construcción del oleoducto Keystone XL, el problema de la explotación de las arenas bituminosas se va haciendo cada vez más complicado.

—David Biello

La teoría de los anillos

Como dijo Carl Sagan, «si quieres hacer un pastel de manzana desde cero, primero debes inventar el universo». Y si quieres hacer una luna desde cero, según investigaciones recientes, primero debes crear planetas con anillos —después de inventar el universo, por supuesto.

La Luna de la Tierra podría haberse formado a partir de un sistema de anillos desaparecido hace mucho tiempo, similar a los anillos que rodean Saturno en la actualidad; lo mismo sucede con muchos de los satélites que orbitan en torno a los demás planetas. La mayor parte de los satélites regulares del sistema solar, aquellos que se mantienen cerca de su planeta en órbitas aproximadamente ecuatoriales, se originaron de esta manera, en lugar de surgir simultáneamente a los planetas como resultado directo de la formación planetaria, según las conclusiones de un grupo de astrofísicos franceses. Los investigadores describieron sus hallazgos en el número de noviembre de 2012 de *Science*.

A través de modelos teóricos, Aurélien Crida, de la Universidad Sophia-Antipolis de Niza, y Sébastien Charnoz, de la Universidad Diderot de París, han descubierto que el proceso de formación lunar comienza en el extremo de un anillo planetario, donde un satélite puede constituirse sin ser despedazado por la atracción gravitatoria del planeta. Allí van surgiendo pequeñas lunas a partir del material que compone el anillo, antes de emigrar hacia el exterior. A medida que el sistema de anillos expulsa una pequeña luna tras otra, las mismas se fusionan para formar lunas mayores, que también pueden fusionarse a su vez, conforme se van alejando del planeta en una trayectoria en espiral.

Ello explicaría un elemento clave que es común a los satélites regulares de Saturno, Urano y Neptuno: las lunas situadas más lejos de su planeta respectivo tienden a tener una masa superior a las de sus vecinas de las regiones inferiores. Como una bola de nieve que rueda ladera abajo, las lunas que se forman se hacen cada vez mayores a medida que se alejan del planeta y sus anillos, fusionándose una y otra vez. El resultado



Los anillos de Saturno

final es un sistema de satélites bien ordenado, con pequeñas lunas en la zona interior, formadas a partir de un número reducido de fragmentos, y grandes lunas en el exterior, creadas a partir de numerosos satélites.

Los planetólogos suelen pensar que un impacto gigante sufrido por la Tierra recién formada emitió una gran nube de materiales que se convirtió en nuestra Luna. Según la teoría de Crida y Charnoz, esos materiales primero se convirtieron en un anillo en torno al planeta, el cual luego se extendió y se congregó para dar lugar a la Luna.

La nueva hipótesis no carece de problemas. Por ejemplo, si una vez hubo grandes sistemas de anillos similares a los de Saturno en torno a Neptuno y Urano, ¿dónde están ahora? «Tenemos algunas ideas, pero ninguna convincente», señala Crida. «Sin embargo, creo que podemos encontrar buenas razones para la desaparición de los anillos, y los satélites constituyen un buen indicio.»

—John Matson

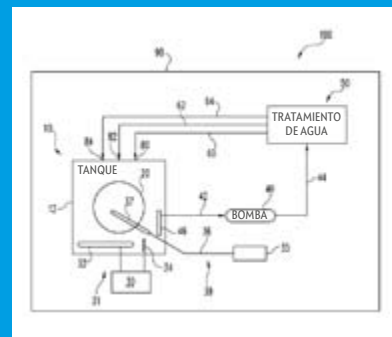
PATENTES

Un método para cultivar coral: Los corales vivos constituyen una impresionante adquisición para un acuario marino, pero obtenerlos de la naturaleza supone una amenaza ecológica para los escasos arrecifes coralinos. El cultivo o acuicultura de corales podría ayudar a solucionar el problema, especialmente en los Estados Unidos, donde los aficionados compran el 80 por ciento del coral vivo que se vende en el mundo. Una de las dificultades para cultivar coral consiste en reproducir las fuertes corrientes multidireccionales creadas por las olas y mareas que necesitan los organismos de los arrecifes para prosperar. Karen Spartz, propietaria de un negocio de acuicultura en Indiana, ha ideado una solución.

La patente número 8.267.045 describe un sistema que imita un entorno marino mediante el control de la composición química del agua, su temperatura y el uso de la luz natural para cultivar multitud de organismos, como estrellas de mar, anémonas, peces y corales. Muchas de esas técnicas se utilizan de modo habitual en el negocio de la acuicultura, pero Spartz añadió una gran bandeja giratoria. La bandeja, con forma de rueda, se mantiene a flote con pequeñas boyas y se equilibra gracias a la distribución de los corales cultivados. Una sola bomba hace que el agua fluya a través de un refugio (un subtanque separado del tanque principal pero que comparte el agua con él) donde hay algas que filtran y limpian el agua. Una serie de aberturas adecuadamente dispuestas conducen el agua de vuelta al tanque principal y hacen que gire la bandeja, con lo que se crea una corriente constante para los organismos acuáticos. «Al coral le gusta la turbulencia», afirma Spartz.

La patente de Spartz también propone una variación: una bandeja con velas impulsadas por un ventilador. Esta configuración edéica podría utilizarse para cultivar organismos como caballitos de mar o nudibrancios, que no soportan un flujo directo de agua, afirma David Baker, profesor adjunto de biología en la Universidad de Hong Kong.

—Marissa Fessenden



EXPLORACIÓN ESPACIAL

Siestas espaciales

¿Cuántos ingenieros hacen falta para cambiar una bombilla?

La pregunta no es un chiste para la NASA, que está invirtiendo 11,4 millones de dólares para cambiar los viejos fluorescentes del segmento estadounidense en órbita de la Estación Espacial Internacional. Cuando la NASA empezó a pensar en



reemplazar las luces, los médicos se dieron cuenta de que tenían la oportunidad de abordar un problema totalmente distinto: el insomnio de los astronautas.

La confusión causada por la falta de sueño es una molestia en la Tierra, pero resulta peligrosa en el espacio. Aunque su horario permite ocho horas y media de sueño al día, los astronautas apenas duermen seis horas de media, afirma Smith Johnston, oficial médico y cirujano de vuelo de la NASA. La combinación de flotación, ruido, temperatura variable, mala circulación del aire, dolores de espalda y de cabeza, y un nuevo amanecer cada noventa minutos confunde los ritmos circadianos. La agencia espacial estadounidense espera solucionar al menos parte del problema con unas nuevas lámparas.

Los especialistas en sueño han descubierto que, cuando unos receptores de luz específicos en nuestros ojos se exponen a una determinada longitud de onda de luz azul, nos sentimos más alerta porque el cerebro inhibe la melatonina, una hormona clave en la regulación del sueño. En cambio, la luz de la zona roja del espectro permite su circulación.

Las nuevas lámparas, fabricadas por Boeing, se componen de un arcoiris de más de cien bombillas LED atenuadas por un difusor, de modo que parecen el único panel de luz blanca, explica Debbie Sharp, directiva de Boeing. Las lámparas tienen tres modos de funcionamiento, cada uno con una tonalidad ligeramente distinta: la luz blanca es para la visión general, una luz más fría, con un tono azul, promueve el estado de alerta, y una luz más cálida y rojiza favorece la somnolencia. Boeing y sus subcontratistas esperan entregar 20 lámparas en 2015.

Mientras tanto, científicos de instituciones como la Escuela de Medicina de Harvard y la Universidad Thomas Jefferson están comprobando la eficacia de las lámparas.

Algún día, la tecnología podría extenderse también a la Tierra, quizá para la iluminación de hospitales, submarinos nucleares, fábricas o aulas escolares. «El simple hecho de que llevemos años utilizando luces fluorescentes no significa que sea la mejor opción», afirma Elizabeth Klerman, colaboradora del estudio de Harvard.

—Katie Worth

FISIOLOGÍA

Efecto del deporte en el cerebro

El casco protege la cabeza de los jugadores de fútbol americano y de los soldados, pero no puede evitar del todo los daños del cerebro al golpearse contra el cráneo después de un impacto. Una serie de estudios han relacionado este tipo de traumas repetitivos con una devastadora enfermedad cerebral. El 2 de diciembre de 2012, un grupo de investigadores de la facultad de medicina de la Universidad de Boston, el Departamento de Asuntos de los Veteranos de los Estados Unidos y otras instituciones publicaron sus resultados en línea en la revista *Brain* sobre los cambios provocados por la encefalopatía traumática crónica (ETC). El análisis ofrece la descripción más detallada hasta el momento de la patología y sus diferencias con otras dolencias neurodegenerativas, como la enfermedad de Alzheimer.

Los investigadores analizaron muestras cerebrales procedentes de autopsias de 85 personas, incluidos deportistas y excombatientes con antecedentes de lesiones cerebrales traumáticas. Las muestras revelaron el curso progresivo de la enfermedad en el cerebro, con la presencia de marañas de proteínas tau, un indicio de deterioro cognitivo que

está asociado también a la enfermedad de Alzheimer. En la ETC, sin embargo, las marañas aparecen en regiones distintas del cerebro y se extienden de una forma irregular característica. Las anomalías iniciales parecen reflejar la lesión física, y el trabajo con modelos animales sugiere que el avance de la enfermedad puede guardar relación con los intervalos entre lesiones: cuando

el tiempo transcurrido no es suficiente para que el tejido se cure, cada impacto posterior daña aún más el cerebro.

El estudio refuerza la idea de que las lesiones cerebrales presentes en los deportistas contribuyen a esta enfermedad. De las 85 personas analizadas, 68 habían sufrido ETC y, de estas últimas, 64 habían jugado a deportes de contacto, como el fútbol americano o el hockey. Sin embargo, el estudio no explica por qué otras personas con antecedentes similares carecen de los signos de la enfermedad. Ann McKee, neuropatóloga del Centro Médico de Veteranos Bedford, en Massachusetts, y autora del estudio, señala la urgencia de realizar más investigaciones para averiguar la causa, tal vez de origen genético, de la predisposición de algunas personas a sufrir ETC.

—Daisy Yuhás





Imperfecciones: Huellas de gusano en los grabados.

BIOLOGÍA

Escarabajos xilófagos

Los agujeros de gusano no solo sirven para viajar en el tiempo o para la teletransportación. Algunos agujeros reales y muy antiguos están ayudando a descifrar la distribución de especies de insectos y de obras de arte en el pasado. La novedosa idea se atribuye a un biólogo que se vio implicado en el insólito mundo de las xilografías europeas de siglos de antigüedad. Allí descubrió que muchas de las pequeñas imperfecciones en las xilografías permitían identificar las especies de insectos que habían perforado la superficie de la plancha de madera original antes de imprimir el grabado. Al hacer corresponder las dimensiones de los agujeros con el momento y el lugar en los que se realizaron las xilografías, el científico, Blair Hedges, profesor en la Universidad estatal de Pensilvania, ha obtenido un registro histórico de la distribución de escarabajos xilófagos en Europa, una información desconocida hasta ahora. Hedges publicó sus resultados en febrero en la revista *Biology Letters*.

El investigador ha bautizado ese hallazgo como el «registro histórico de agujeros de gusano». Los escarabajos adultos ponen huevos en las grietas de la plancha. Cuando las larvas eclosionan,

se introducen lentamente en la madera y pasan tres o cuatro años allí, alimentándose de celulosa. Una vez transformadas en escarabajos adultos, excavan un túnel para salir de la madera, con lo que se originan los agujeros que se observan en tantas xilografías.

El científico estudió 3263 agujeros de gusano en 473 xilografías creadas entre 1462 y 1899. Descubrió que había dos tamaños de agujeros: algunos medían unos 2,3 milímetros de diámetro y otros unos 1,4 milímetros. Y se podía distinguir un patrón geográfico: los de menor tamaño pertenecían a xilografías realizadas en el noreste del continente europeo, mientras que los de mayor tamaño se hallaban en las del suroeste. Así pudo deducir la especie de cada escarabajo: la carcoma común (*Anobium punctatum*) al noreste y la carcoma mediterránea (*Oligomerus ptilinoides*) al suroeste. El método de Hedges podría ayudar a analizar la distribución de especies xilófagas y a obtener un registro histórico en todo el mundo, lo que permitiría identificar los cambios en poblaciones locales y el momento en que aparecen especies invasoras. La técnica podría contribuir también a resolver algunos misterios del mundo del arte, como los orígenes de un libro o de una xilografía.

—Katherine Harmon

CONFERENCIAS

17 de abril

Cuando la nanotecnología se encuentra con la medicina

Raúl Pérez Jiménez (CIC nanoGUNE)
Ciclo «Nanotecnología: El gran reto de lo pequeño»
Universidad del País Vasco
Campus de Leioa
www.nanogune.eu > Events

17 de abril

La amenaza de las especies invasoras sobre la biodiversidad de las Islas Galápagos

Anna Traveset, CSIC y Universidad de las Islas Baleares
Ciclo «La geografía de la vida. Centenario de la muerte de Alfred Russel Wallace»
Octubre Centro de Cultura Contemporánea
Valencia
www.octubre.cat

24 de abril

Los libros de astronomía que han cambiado la visión del universo

Marta Folgueira, UCM
Seminario de Historia de la Matemática
Facultad de Ciencias Matemáticas
Universidad Complutense de Madrid
Madrid
www.mat.ucm.es

EXPOSICIONES

Ars Mechanicae. Ingeniería medieval en España

Casa de las Ciencias
Logroño
www.logroño.es/casadelasciencias

OTROS

Los miércoles de abril - Ciclo

El debate sobre los límites de la ciencia y el estudio de fenómenos paranormales

Coordinado por Annette Mülberger,
Centro de Historia de la Ciencia (UAB)
Instituto de Estudios Catalanes
Barcelona
bloes.iec.cat/arban > Programas

4 de abril - Neuroconcierto

Banda sonora original: música, emoción y memoria

Judith Domínguez-Borràs,
Universidad de Ginebra
Joaquim Rabaseda, ESMUC
Manel Camp (piano), Horacio Fumero (contrabajo), Matthew Simon (trompeta)
Parainfo
Universidad de Barcelona
www.ub.edu/neuroub

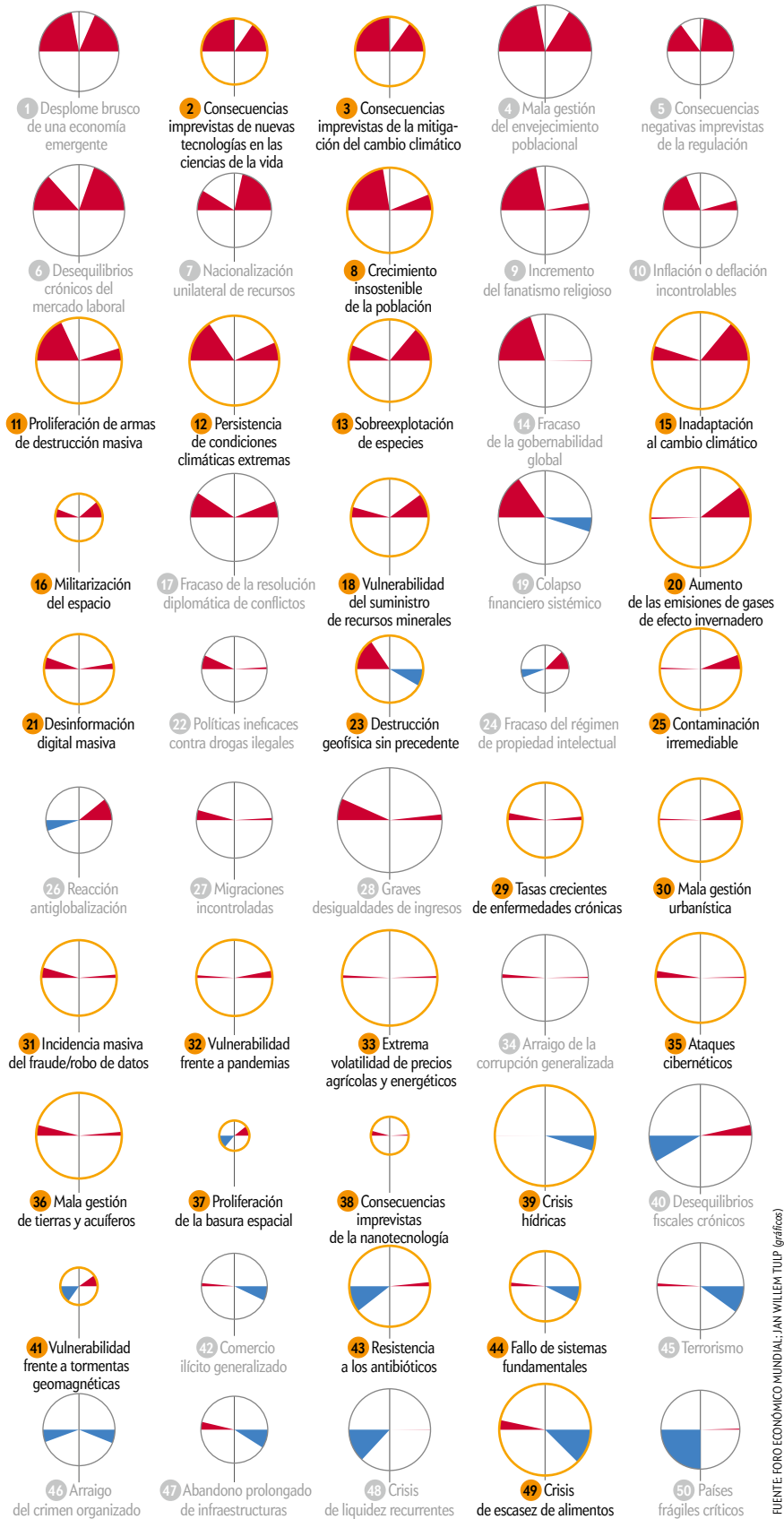
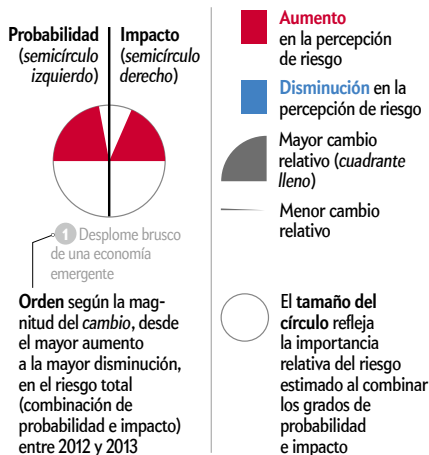
Riesgos en alza

Una encuesta a dirigentes revela una creciente preocupación por las consecuencias de la ciencia y la tecnología

La economía lleva años encabezando titulares, pero las consecuencias imprevistas de las ciencias de la vida y de la mitigación del cambio climático comienzan a pesar en la mentalidad colectiva. Expertos del Foro Económico Mundial y líderes de la industria han calibrado la probabilidad y el posible impacto de 50 riesgos de importancia mundial (el *Informe sobre riesgos globales* de 2013 se publicó en enero). Hemos ordenado cada peligro en función de cuánto ha cambiado su valoración durante el pasado año (con el mayor aumento combinado de probabilidad estimada e impacto potencial en el ángulo superior izquierdo); el color naranja señala los relacionados con la ciencia y la tecnología. Destacan sobre todo la demografía, la desaparición de especies, las armas de destrucción masiva, la contaminación y las tecnologías de la información. El cambio climático, incluidos los temores sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación, también tiene un peso importante.

—Fred Guteri

Los contadores muestran la estimación del riesgo de 50 problemas mundiales



Nuevos indicios de la existencia de ondas gravitacionales

Un sistema binario de enanas blancas descubierto hace poco se revela como un «laboratorio perfecto» para poner a prueba la teoría de la relatividad de Einstein

Las ondas gravitacionales constituyen una de las predicciones básicas de la teoría de la relatividad. Del mismo modo que el electromagnetismo nos enseña que una carga eléctrica acelerada radia ondas electromagnéticas (es decir, luz), la relatividad general predice que una masa en movimiento acelerado debería emitir radiación gravitatoria: perturbaciones locales en la estructura del espaciotiempo que se propagarían en forma de ondas.

Hasta ahora, sin embargo, ningún experimento ha logrado detectar ondas gravitacionales de manera directa. La interacción gravitatoria es tan débil que medir dichas perturbaciones requiere una sensibilidad técnica extrema, muy difícil de alcanzar en los laboratorios terrestres. Aunque en la actualidad existen varios proyectos en curso y, de cara al futuro, se han diseñado complejas misiones espaciales basadas en interferometría láser entre satélites, la observación directa de ondas gravitacionales probablemente se haga esperar unos años.

Con lo que sí contamos desde hace un tiempo es con algunas pruebas indirectas de su existencia. La última de ellas fue obtenida el año pasado. En una colaboración internacional en la que participó Antonio Cabrera Lavers, del Gran Telescopio Canarias (GTC), y el autor, hallamos nuevos indicios de la emisión de ondas gravitacionales en un sistema compuesto por dos enanas blancas. Los resultados fueron publicados el pasado mes de septiembre en *The Astrophysical Journal Letters*.

¿Hacia dónde mirar?

Las fuentes estables más intensas de radiación gravitatoria las hallamos en los sistemas binarios formados por dos objetos compactos, como agujeros negros, estrellas de neutrones o enanas blancas. En ellos, cuerpos de masas formidables sufren aceleraciones extremas asociadas al movimiento orbital, por lo que deberían emitir una cantidad considerable de energía en forma de ondas gravitacionales. Como consecuencia de esa fuga energética, su período orbital (el tiempo que los

cuerpos tardan en describir una órbita en torno al centro de masas común) debería experimentar una disminución paulatina [véase «Púlsares y ondas gravitacionales» por Michael Kramer y Norbert Wex, en este mismo número].

En 1974, Russell A. Hulse y Joseph H. Taylor descubrieron el púlsar PSR B1913+16. Un púlsar es una estrella de neutrones que rota sobre sí misma con gran rapidez y que posee un intenso campo magnético. Aunque tales objetos giran sobre su eje de manera muy regular, Hulse y Taylor observaron que el período de rotación de PSR B1913+16, de unos 59 milisegundos, variaba ligeramente con un período de 7,75 horas. Dichas alteraciones se debían a que, en realidad, se trataba de un sistema binario: el objeto orbitaba en torno a una segunda estrella de neutrones a una velocidad comprendida entre 100 y 450 kilómetros por segundo.

Desde entonces se ha venido observando que dicho sistema, así como otros similares descubiertos con posterioridad, experimenta una reducción progresiva de su período orbital. Dicha disminución coincide con las predicciones relativistas de pérdida de energía por radiación gravitacional, motivo por el que Hulse y Taylor recibieron el premio Nobel de física en 1993.

Laboratorio ideal

En 2011, en una colaboración con investigadores de las universidades de Harvard y Texas, descubrimos la existencia de un sistema binario formado por dos enanas blancas situadas a unos 3000 años luz de la Tierra. Identificado como J0651+2844 debido a sus coordenadas celestes, las masas de las estrellas ascendían a 0,25 y 0,5 masas solares y su período orbital era de tan solo 12,75 minutos.



De acuerdo con la teoría de la relatividad general, los sistemas binarios formados por objetos compactos, como los que muestra esta recreación artística, deberían emitir una enorme cantidad de energía en forma de ondas gravitacionales. La observación de una pérdida de energía en una pareja de enanas blancas descubiertas recientemente ha permitido corroborar de manera indirecta esta suposición.

La velocidad de los objetos en órbita alcanzaba los 600 kilómetros por segundo, lo cual implicaba que debían sufrir aceleraciones muy violentas. Nuestros cálculos demostraron que dicho sistema debía constituir la segunda fuente de radiación gravitacional más intensa conocida en frecuencias del milihercio. Además, las enanas blancas se encontraban bien separadas, por lo que no intercambiarían materia. Ello las convertía en un sistema perfecto para medir la reducción del período orbital asociado a la emisión de ondas gravitacionales.

La casualidad ha querido que el plano orbital de J0651+2844 se encuentre alineado con la línea de visión desde la Tierra. Por tanto, en cada órbita se producen dos eclipses, gracias a lo cual el período orbital del sistema —y sus peque-

ñas variaciones— puede obtenerse con gran precisión a partir de simples imágenes. Cada vez que una estrella pasa por delante de la otra, la luz que llega a la Tierra disminuye hasta un 20 por ciento, lo que convierte al sistema en un cronómetro de gran precisión situado a miles de años luz.

Desde el descubrimiento de dicho sistema binario, los investigadores que participamos en el proyecto hemos concentrado nuestros esfuerzos en estudiarlo con detalle. A tal fin hemos utilizado telescopios en Hawái, Nuevo México y Texas; además del GTC, en la isla de La Palma. Gracias a la gran capacidad colectora de su espejo primario, de 10,4 metros, este último tomó las medidas con la cadencia más rápida: una imagen cada diez segundos, lo cual nos permitió registrar con

gran precisión el momento de los eclipses. Tras más de 200 horas de observación acumuladas entre todos los instrumentos, hemos podido comprobar sin ambigüedades que el sistema reduce su período orbital a un ritmo de 0,26 milisegundos al año, un resultado que concuerda con las predicciones teóricas.

Si la pérdida de energía por emisión de ondas gravitacionales no existiese, las enanas blancas orbitarían siempre a una distancia constante. Sin embargo, la disminución del período orbital nos indica que ambas estrellas se acercan una a la otra, por lo que de manera inexorable acabarán colisionando dentro de unos pocos millones de años.

—Carlos Allende Prieto
Instituto de Astrofísica de Canarias

MICROBIOLOGÍA

Cables eléctricos bacterianos

Las reacciones geoquímicas en la superficie de los sedimentos marinos se acoplan con las de las capas más profundas mediante filamentos bacterianos

Hace tan solo unos años, cualquier sugerencia de que los microorganismos pudieran funcionar como cables conductores de más de un centímetro de longitud, y así transmitir corrientes eléctricas, se habría recibido con escepticismo. Pues bien, Christian Pfeffer, de la Universidad de Aarhus, y sus colaboradores han demostrado ese fenómeno en un artículo publicado en noviembre de 2012 en la revista *Nature*. Los investigadores han observado que en los sedimentos marinos cuyas reacciones geoquímicas están acopladas mediante corrientes eléctricas abundaba un grupo de bacterias filamentosas hasta ahora desconocido.

Parte del oxígeno atmosférico disuelto en las aguas oceánicas se difunde hacia los sedimentos y crea una región óxica que favorece el crecimiento de microorganismos aerobios. Estos consumen el oxígeno con rapidez, que emplean como aceptor final de los electrones generados durante la descomposición de materia orgánica. El consumo de oxígeno es tan rápido que se agota antes de que pueda difundirse por completo en los sedimentos. Ese proceso microbiano estratifica los sedimentos en una capa superficial con oxígeno (la zona óxica) y una capa inferior sin oxígeno mucho más profunda (la zona anóxica). Esta última alberga microbios anaerobios

que utilizan otros aceptores de electrones finales, como el sulfato (SO_4^{2-}), para satisfacer sus demandas metabólicas y energéticas. El empleo de sulfato como aceptor de electrones metabólicos genera sulfuro de hidrógeno (H_2S), un gas especialmente tóxico para los microorganismos aerobios. Pero la concentración de ese gas se controla gracias a la actividad de ciertos microorganismos que lo convierten en sulfato u otros compuestos oxidados de azufre. Su acción evita el ascenso del sulfuro de hidrógeno hasta la zona óxica y mantiene una separación de milímetros, o incluso centímetros, entre ambas.

A pesar de tal separación, las capas óxica y sulfhídrica de los sedimentos se hallan íntimamente conectadas. Así, una disminución de la concentración de oxígeno en la capa superior da lugar de inmediato a una acumulación de sulfuro de hidrógeno y a una extensión de la región sulfhídrica. De la misma forma, en cuanto el oxígeno se difunde de nuevo en la parte superior del sedimento, el consumo de sulfuro de hidrógeno se incrementa y la capa sulfhídrica remite. Debido a la gran rapidez de respuesta, se descarta la existencia de mecanismos basados en la difusión de moléculas. El fenómeno solo puede explicarse si el acoplamiento de las dos reacciones es mediado por corrientes

eléctricas. Estas podrían ser transmitidas por apéndices conductores bacterianos (los llamados nanocables microbianos), por compuestos sólidos con capacidad de aceptar y donar electrones (como las sustancias húmicas que se generan durante la descomposición de materia orgánica) o por minerales conductores. Sin embargo, los datos experimentales sugieren que esos mecanismos permiten la transmisión de corrientes eléctricas a distancias del orden de nano- a micrómetros, mientras que las capas óxica y sulfhídrica están separadas por milímetros o incluso centímetros de sedimento.

En su artículo, Pfeffer y sus colaboradores describen que los sedimentos marinos sulfhídricos se hallan densamente colonizados por largos filamentos bacterianos multicelulares. Alcanzan longitudes (algunos hasta 1,5 centímetros) similares a las distancias que separan las capas óxica y sulfhídrica. Los resultados de sus experimentos demuestran que los filamentos son necesarios para el acoplamiento eléctrico de ambas capas. Así, cuando cortaron transversalmente los sedimentos (y consiguieron, los filamentos) o insertaron filtros para impedir el acceso de los filamentos a la capa sulfhídrica, el consumo de oxígeno en la región óxica se redujo notablemente y la capa sulfhídrica aumentó de grosor.