

INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición española de
SCIENTIFIC
AMERICAN



SANIDAD

¿Pueden prevenirse las pandemias?

HISTORIA DE LA CIENCIA

Vito Volterra, en la encrucijada del saber del XIX

MATERIALES

Llega el láser semiconductor verde

BIOLOGIA

¿Por qué desaparecen las colmenas?

ENERGIA OSCURA

¿O un vacío cósmico local?
Otras explicaciones de la expansión acelerada





58

El verde ha sido un color vedado a los láseres semiconductores.



22

Si desapareciesen las abejas polinizadoras, muchas frutas y verduras de consumo habitual se convertirían en manjar de reyes.

64



Los animales salvajes han transmitido a los humanos numerosos patógenos, entre ellos el VIH.

ARTICULOS

COSMOLOGIA

14 Energía oscura o vacío cósmico

Timothy Clifton y Pedro G. Ferreira

Las observaciones que llevaron a deducir la existencia de la energía oscura podrían tener otra explicación: que nuestra galaxia estuviera en el centro de un gigantesco vacío cósmico.

APICULTURA

22 Salvar la abeja melífera

Diana Cox-Foster y Dennis vanEngelsdorp

El misterioso síndrome de despoblamiento de las colmenas ha eliminado poblaciones enteras de abejas polinizadoras. Las causas son complejas, pero ya hay soluciones a la vista.

FISICA

30 La realidad de los cuantos

Anton Zeilinger

Los experimentos demuestran que el concepto de información posee un significado fundamental en el mundo cuántico, algo que también es de vital importancia para futuras aplicaciones técnicas.

BIOLOGIA

42 Evolución de la visión de los colores en los primates

Gerald H. Jacobs y Jeremy Nathans

El análisis de los pigmentos visuales en los primates demuestra que nuestra visión cromática siguió un curso evolutivo singular y que el cerebro es más adaptable de lo que suele creerse.

PALEONTOLOGIA

50 *Turiasaurus riodevensis*: el gigante europeo

Rafael Royo Torres, Alberto Cobos y Luis Alcalá

Están apareciendo fósiles de *Turiasaurus riodevensis*, dinosaurio saurópodo gigante, en sedimentos de entre 140 y 150 millones de años de antigüedad. El yacimiento se encuentra en España.

ESTADO SOLIDO

58 Láseres verdes en miniatura

Shuji Nakamura y Michael Riordan

Los semiconductores generan luz de láser de todos los colores, menos uno. Pero con nuevas técnicas de crecimiento de diodos láser pronto ofrecerán la totalidad del espectro.



14

Relajar el principio copernicano podría explicar la expansión acelerada del universo.



79

Podría estar confundiendo una reacción normal a la guerra con una dolencia crónica.



50

Los inmensos dinosaurios de Teruel.

SALUD PUBLICA

64 Prevención de pandemias

Nathan Wolfe

Una red internacional de vigilancia de flujos víricos, de animales a humanos, facilitaría la prevención de epidemias a escala mundial.

HISTORIA

70 Vito Volterra

Ana Millán Gasca

Las transformaciones de la ciencia en el siglo xx y su nueva función en la guerra, la economía y la cultura configuraron el escenario de la actividad del matemático italiano Volterra.

PSIQUIATRIA

79 La trampa del estrés postraumático

David Dobbs

Existe un convencimiento creciente de que el concepto de trastorno de estrés postraumático se ha sacado de quicio. Los soldados sufren las consecuencias.

SECCIONES

3 HACE...

50, 100 y 150 años.

4 PUESTA AL DIA

Volutas "sensacionales"...
Células madre... Cuando la Luna nos mostraba su cara oculta... Fusión desastrosa.

6 APUNTES

Audición... Biotécnica...
Evolución... Ingeniería...
Estadística... Química marina.

8 CIENCIA Y SOCIEDAD

Observatorio Pierre Auger...
Nueva gripe humana de origen porcino... Enfriamiento de estrellas de neutrones.

39 CIENCIA Y GASTRONOMIA

El cava, por *Pere Castells*

40 DE CERCA

Bacterias marinas y cambio climático, por *Oscar Santegoeds*,
Laia Angel-Ripoll,
Dolors Vaqué

86 CURIOSIDADES DE LA FISICA

El mundo cóncavo, por *Norbert Treitz*

90 JUEGOS MATEMATICOS

¿Qué son los números?, por *Agustín Rayo*

92 IDEAS APLICADAS

Propulsión a chorro, por *Mark Fischetti*

94 LIBROS

Sociobiología. Matemática.

INVESTIGACION Y CIENCIA

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

PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón
Albert Marín Garau

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

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

SCIENTIFIC AMERICAN

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

PRESIDENT Steven Yee
VICE PRESIDENT Frances Newburg
VICE PRESIDENT, FINANCE, AND GENERAL MANAGER Michael Florek
MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL Kevin Hause

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

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

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.^a - 08021 Barcelona

PUBLICIDAD

Teresa Martí Marco
Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona
Tel. 934 143 344 - Móvil 653 340 243
publicidad@investigacionyciencia.es

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Ramón Pascual: *Energía oscura o vacío cósmico*; Joandomènec Ros: *Salvar la abeja melífera*; Ernesto Lozano Tellechea: *La realidad de los cuantos*; Anna Ferran: *Evolución de la visión de los colores en los primates*; Luis Bou: *Prevención de pandemias, Puesta al día y Apuntes*; Marián Beltrán: *La trampa del estrés postraumático*; J. Vilardell: *Hace...*, *Apuntes e Ideas aplicadas*; Tanja Sachse: *Curiosidades de la física*



Portada: Kenn Brown, Mondolithic Studios

SUSCRIPCIONES

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

Precios de suscripción:

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

Ejemplares sueltos:

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

Difusión
controlada

Copyright © 2009 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2009 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona (España)

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

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

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

Printed in Spain - Impreso en España

Recopilación de Daniel C. Schlenoff

...cincuenta años

Auto-reproducción. «Puede que fabricar una máquina con capacidad de construirse a sí misma se considere un imposible perteneciente a la categoría de los móviles perpetuos. En colaboración con Roger Penrose, he enfocado el problema de un modo radical, sin el estorbo de unidades prefabricadas tales como ruedas y células fotoeléctricas. Nuestra idea fue diseñar y, de ser posible, construir unas unidades básicas o módulos con unas propiedades tales, que pudiéramos construir con ellas una máquina auto-reproductora. —L. S. Penrose»

Menús espaciales. «El problema de comer y beber en las condiciones de ingravidez propias del espacio, hace tiempo un tema de especulación entre los escritores de fantasía científica, ya está investigándose en un laboratorio volante. Resultados preliminares apuntan a que los viajeros espaciales beberán de botellas de plástico exprimibles y a que los cocineros espaciales tendrán que especializarse en elaboraciones semilíquidas semejantes a los alimentos para bebés. Según un informe publicado en *Journal of Aviation Medicine*, casi todos los voluntarios descubrieron que beber de un recipiente abierto era una operación frustrante y sobradamente desaseada. En condiciones de ingravidez incluso un vaso de agua alzado lentamente propende a proyectar contra la cara una masa de líquido en forma de ameba. Apenas un poco mejor resultaba beber con una paja. Dentro del agua ingravida permanecían suspendidas burbujas de aire y los sujetos ingerían más aire que agua.»

...cien años

Se necesitan escritores. «En EE.UU. se exhiben películas cinematográficas en unos diez mil teatros y salas. A la rápida difusión de esta nueva diversión la ha acompañado un cambio acusado en el gusto del público. Antes, los espectadores se conformaban viendo a los empleados de una fábrica yendo y viniendo de su trabajo, con trenes que partían y llegaban, y escenas similares. En la actualidad, hay que desarrollar un argumento más o menos coherente, razón por la cual los realizadores cinematográficos se han visto obligados a escribir unos guiones (o, al menos, idearlos) que se representan delante de la cámara.»

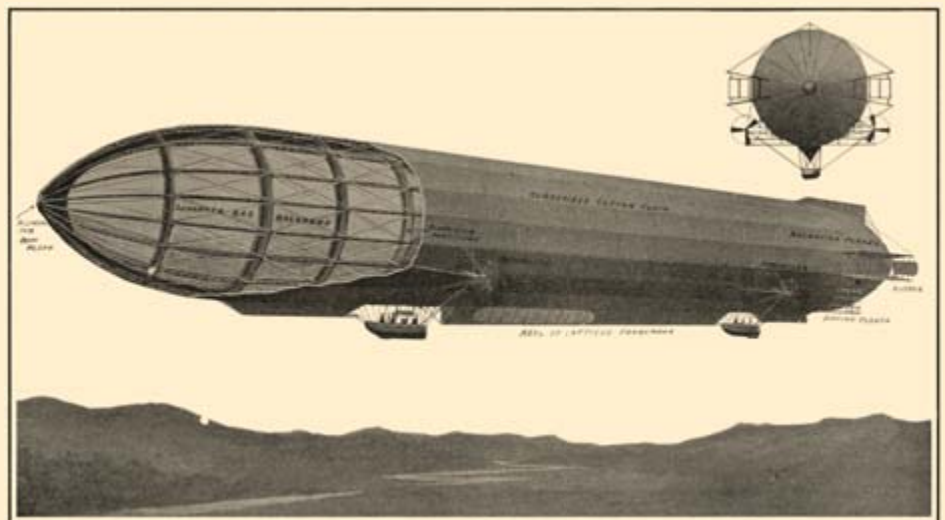
Cielo arriba. «La ilustración inferior ofrecerá al lector una excelente idea de la construcción general de la última aeronave Zeppelin, el 'Zeppelin II' [también designada

LZ5], que en fecha reciente ha realizado un vuelo récord de unos 1400 kilómetros. La aeronave consta de un armazón en celosía de extremos cónicos, que encierra 17 sacos de gas independientes llenos de hidrógeno. Su fuerza de sustentación es de unas 16 toneladas. Hay planes en marcha para establecer líneas regulares de aeronaves entre varias de las ciudades alemanas más pobladas.»

La ley del caracol. «El Ministerio francés de Agricultura, tras un cuidadoso examen del asunto, ha establecido el 'estatuto legal de los caracoles', definiéndolos como animales perjudiciales para la vegetación y, por ello, sujetos a captura y destrucción en todo momento y en todas las estaciones del año. La decisión ha causado consternación entre las numerosas personas que se ganan la vida recogiendo caracoles para venderlos. Los caracoles gozan de un gran favor entre los sibaritas franceses; en París se ingieren enormes cantidades de ese molusco. En el invierno de 1900 el consumo de caracoles en la capital de Francia ascendió a unas 800 toneladas.»

...ciento cincuenta años

Seguros y olvidados. «Las ventajas de construir los barcos con compartimentos estancos quedaron totalmente patentes en el caso del vapor de hélice de casco de hierro *Edinburgh*, que hace la travesía entre la ciudad de Nueva York y Glasgow. El 6 de junio, a 300 kilómetros al este de Saint Johns, Terranova [unos 560 kilómetros al norte del lugar donde el RMS *Titanic* se hundiría 53 años después], chocó con un iceberg en medio de una densa niebla y se rompieron sus planchas de proa en la colisión. Al estar formado por compartimentos herméticos al agua, dos de éstos se llenaron enseguida, pero los demás mantuvieron el buque a flote durante treinta horas, tiempo durante el cual regresó a Saint Johns a toda máquina. De no haber sido construido por compartimentos, el buque se habría ido al fondo a la media hora de haber chocado.»



Más ligero que el aire, en vuelo: El Zeppelin II, 1909.

¿Qué ha sido de ...?

Recopilación de Philip Yam

Volutas “sensacionales”

Las crestas papilares de las yemas de los dedos no sirven sólo para asir objetos mejor o para la identificación personal, nos facultan también para percibir texturas finas y objetos diminutos.

Investigadores franceses han construido dos sensores mecánicos: uno, con yema dibujada, el otro, con yema lisa. Hicieron que los sensores rozasen diversas superficies texturadas y midieron las vibraciones recogidas por los dibujos dactilares. Cada resalte am-



pliaba la gama de frecuencias susceptibles de ser detectadas por los corpúsculos pacinianos, unas terminaciones nerviosas de la piel. El trabajo, publicado en la red por *Science* de 29 de enero, contribuye a explicar cómo procede el sentido del tacto para darnos información precisa sobre nuestro entorno inmediato.

—Kate Wilcox

Células madre: ¡Adelante!

Investigadores de la Universidad del Noroeste han logrado detener —y, en algunos casos, invertir— los efectos de las fases iniciales de la esclerosis múltiple, enfermedad en la que el sistema inmunitario ataca al sistema nervioso central. Extrajeron de la médula ósea células hematopoyéticas pluripotentes, responsables de la renovación de las células sanguíneas, y destruyeron mediante fármacos las células inmunitarias allí presentes. Al ser reinyectadas, las células madre parecieron “reinicializar” las defensas del organismo, de modo que ya no se dirigieran contra tejidos sanos. El estudio, publicado en *Lancet Neurology* el 30 de enero, se efectuó en

sólo 21 enfermos. Serán necesarios ensayos más completos para evaluar la técnica.

Los datos sobre terapias con células madre tendrían que multiplicarse en breve, pues la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos estadounidense (FDA) aprobó en enero el primer ensayo con células madre embrionarias humanas, una decisión largamente esperada [véase “Investigación con células madre”; *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*, agosto de 2004]. Ello permitirá que Geron Corporation, de Menlo Park, en California, trate con células madre embrionarias a 10 pacientes que sufren lesiones en la médula espinal.

—Kate Wilcox

Cuando la Luna nos mostraba su cara oculta

Es posible que hace unos cuatro mil millones de años, la Luna le mostrase a la Tierra la que hoy es su cara oculta. Mark Wieczorek y Mathieu Le Feuvre, del Instituto de Física de la Tierra, en París, conjeturan que, si la Luna hubiera mostrado siempre la misma cara, contaría con más cráteres en su borde delantero, pues allí hubiera sufrido un intenso bombardeo durante los primeros tiempos del sistema solar [véase “La nueva Luna”; *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*, febrero de 2004]. Los cráteres jóvenes siguen esa pau-

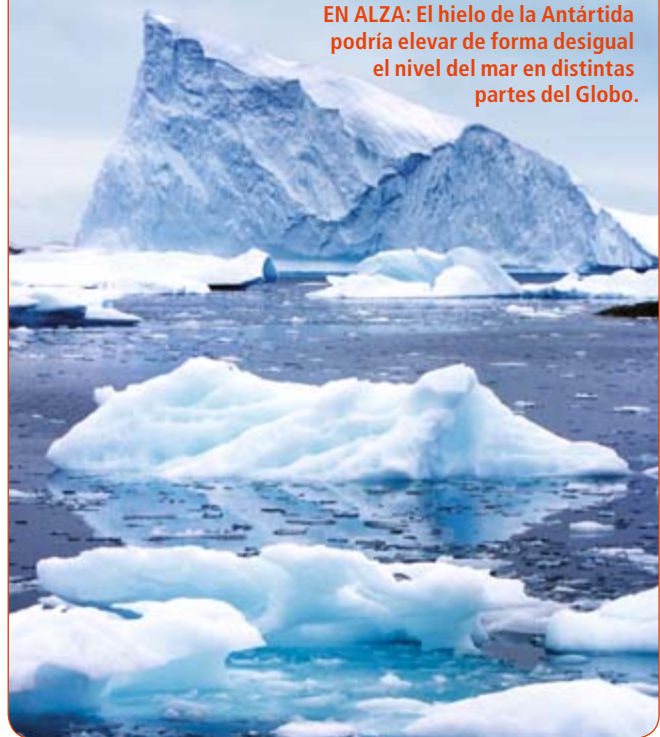


NO VISIBLE: La cara oculta de la Luna, desde la *Apollo 16*.

Fusión desastrosa

Están saliendo a la luz nuevos detalles sobre la elevación del nivel del mar resultante de la fusión de los hielos polares [véase “Dinámica de los casquetes glaciales”; *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*, abril de 2008]. Investigadores de las universidades de Toronto y la estatal de Oregón conjeturan que tal elevación no sería uniforme en todo el planeta. Han examinado la lámina de hielo que cubre la Antártida Occidental, con suficiente hielo depositado sobre tierra firme para elevar en unos cinco metros los niveles marinos, si todo ese hielo fuese a parar al agua. Pero tan enorme redistribución de masa en la Antártida disminuiría la atracción gravitatoria en la zona y desplazaría el eje de rotación de la Tierra en unos 500 metros. Tomados en consideración estos y otros datos, calculan que el nivel del mar descendería en las cercanías de la Antártida, mientras que el hemisferio norte se elevaría entre uno y dos metros más de lo estimado previamente. Puede consultarse el análisis en *Science* de 6 de febrero.

EN ALZA: El hielo de la Antártida podría elevar de forma desigual el nivel del mar en distintas partes del Globo.

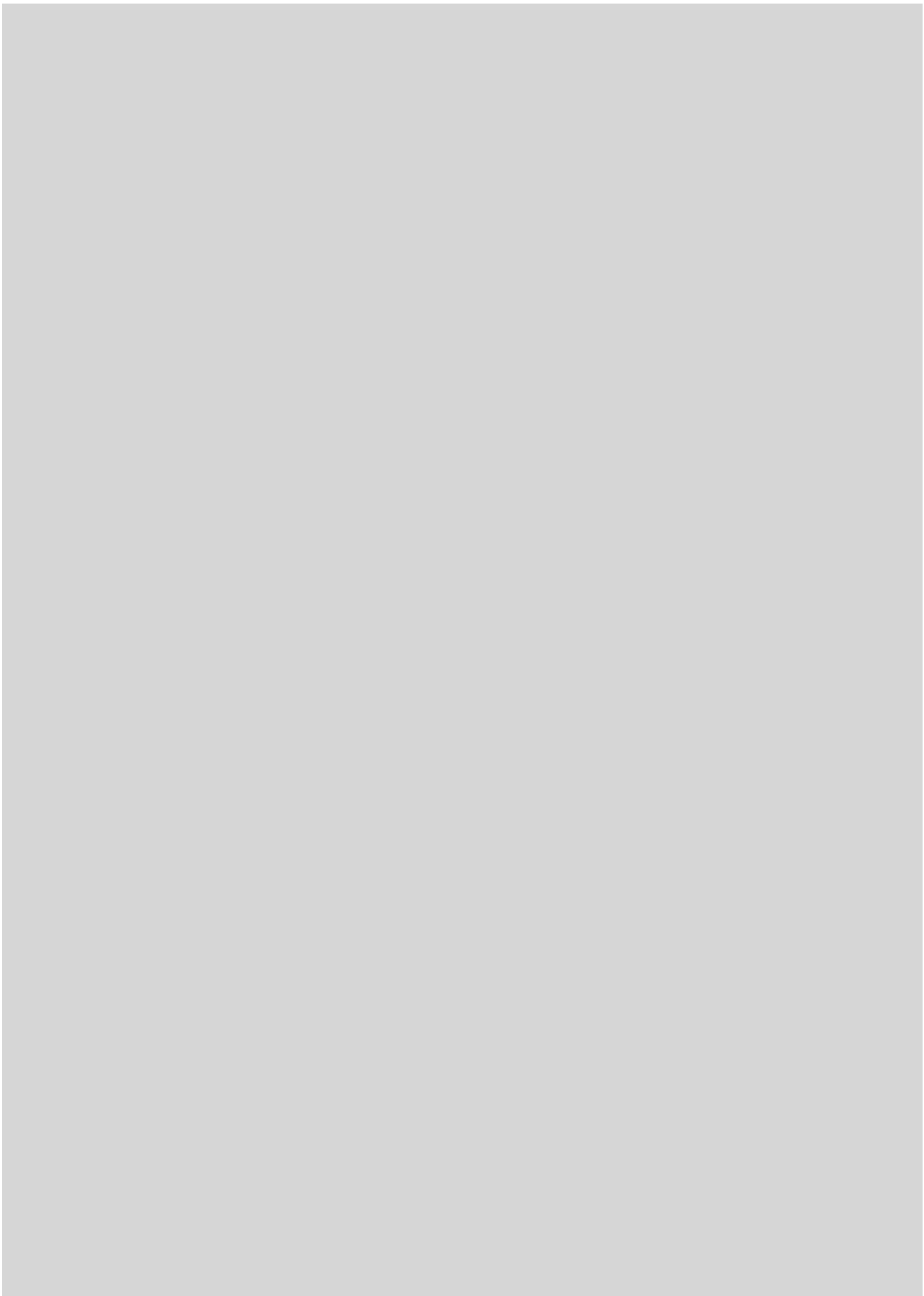


ta. Los antiguos, en cambio, se acumulan en el borde posterior, lo que lleva a pensar que en otros tiempos éste pudo corresponder al sentido de avance. El impacto de un asteroide o cometa habría provocado que la Luna girase 180 grados, hasta su orientación actual. La revista *Icarus* dio a conocer esta conclusión en la red el 31 de diciembre de 2008.

—John Matson

Erratum corrige

En el artículo “Vigilancia de ensayos nucleares”, del mes de mayo, página 70, se dice que Corea del Norte ha separado uranio para construir bombas atómicas. Sin embargo, es plutonio lo que ha separado.



AUDICION

Proteína anti-estruido

Los entusiastas de discotecas y conciertos de música rock que, aun gustando de niveles sonoros de 110 decibelios, deseen conservar su capacidad auditiva, podrían algún día lograrlo engullendo una píldora en lugar de ponerse un tapón en los oídos. Ha sido detectado el mecanismo biológico que limita en el oído los efectos lesivos de sonidos intensos. Cuando un sonido es clasificado en el cerebro como demasiado fuerte, se dispara una proteína ubicada en las células ciliadas del oído interno, llamada nAChr, que al entrar en servicio limita la capacidad de respuesta de las células ciliadas. Los ratones transgénicos creados para producir una nAChr más potente se demostraron incapaces de percibir sonidos suaves, y su audición sufrió menos lesiones permanentes cuando se les aplicaron estruendos de 100 dB en las orejas. "Sabemos que algunos compuestos pueden modificar la proteína", explica Paul Fuchs, de la Universidad Johns Hopkins, que ha publicado estas observaciones en *PLoS Biology*. "Pero hemos de saber más sobre las dosis concretas" —añade—, antes de que pueda haber un fármaco protector contra sonidos fuertes.

—Kate Wilcox



LOS ASISTENTES a conciertos de rock podrían proteger su audición tomando una píldora.

BIOTECNICA

Caldeo sónico de genes

El calentamiento producido por ondas sonoras puede activar genes en el organismo, acaba de demostrar un equipo de investigadores de la Universidad Víctor Segalen de Burdeos. A ratones obtenidos por ingeniería genética, provistos de un gen bioluminiscente que contiene un tramo de ADN termosensible, se les aplicaron impulsos ultrasónicos de gran intensidad enfocados sobre un segmento de 0,5 mm de anchura de las patas, lo que caldeaba la zona inmediatamente subyacente a la piel hasta unos 43 °C. La luz emitida revelaba que el gen había sido activado. Esta técnica podría resultar útil en la terapia génica, basada en la introducción de ADN benéfico en los enfermos. El momento y la forma en que estos genes se activan reviste máxima importancia; de hecho, se emplean ya compuestos de poca masa molecular y radiaciones ionizantes para tal fin. Pero los compuestos carecen de precisión y las radiaciones pueden provocar cánceres. El problema de la activación por ultrasonidos consiste en lograr que las ondas ultrasónicas penetren, sin dañar, hasta la profundidad suficiente para alcanzar órganos.

—Charles Q. Choi

EVOLUCION

Nuevo menú para escarabajos peloteros

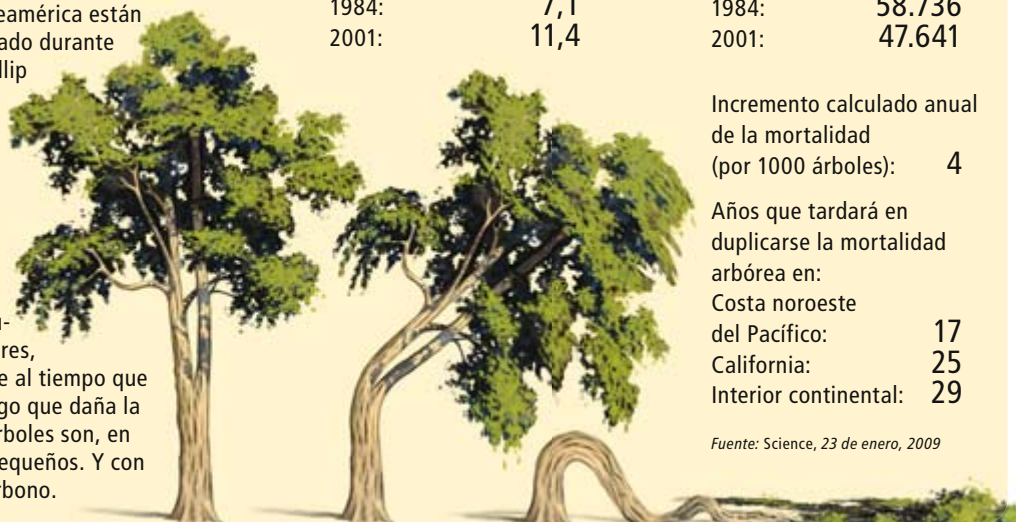
Las heces son tan ricas en bacterias nutrientes, que hasta 80 o más especies de escarabajo pueden vivir en la misma área alimentándose de ellas. En vista de la muy intensa competencia por los excrementos, una de las especies ha abandonado estos desechos y se ha especializado en la depredación. Tras 11 meses de grabaciones con cámaras infrarrojas en la jungla peruana, Trond Larsen, de la Universidad de Princeton, y sus colaboradores han descubierto que un escarabajo pelotero nocturno de 8 milímetros de longitud devora ciempiés 13 veces mayores que él. El escarabajo mata a la víctima aferrándola con las patas; incrusta después, a modo de cuña, su cabeza aserrada entre los segmentos de la presa y secciona en dos el cuerpo. La cabeza de esta especie es inusualmente pequeña para un escarabajo pelotero, lo que resulta tanto mejor para hurgar en el interior de un cadáver y devorar sus entrañas.

—Charles Q. Choi

DATOS

Muerte arbórea

Los árboles del oeste de Norteamérica están muriendo a un ritmo acelerado durante los últimos decenios, según Phillip J. van Mantgem y sus colegas del Servicio Geológico de Estados Unidos. Este equipo ha estudiado diversos parajes de tres regiones: la costa noroeste del Pacífico, California y el interior continental, cerca de las Montañas Rocosas. La causa parece ser que las temperaturas se han elevado en esos lugares, lo que reduce el agua disponible al tiempo que refuerza la actividad de un hongo que daña la corteza. En consecuencia, los árboles son, en promedio, más jóvenes y más pequeños. Y con menor capacidad de retener carbono.





INGENIERIA

Turbinas eólicas y ventiladores

Las diferencias entre las paletas de una turbina eólica y las de un ventilador de techo se deben a unos criterios de diseño opuestos: la turbina eólica está concebida para generar electricidad de modo eficiente captando la velocidad del viento; el ventilador de techo debe impulsar aire a baja velocidad con unos componentes de bajo precio.

Para que el precio de la planta motriz se mantenga bajo, la turbina debe captar la energía contenida en un aire en movimiento rápido y rotar a una velocidad relativamente alta, aunque, para que no se genere un ruido excesivo, dentro de ciertos límites. (La rotación lenta requeriría componentes más pesados y caros.) Tal conversión de energía, para ser eficiente, obliga a usar unas paletas de tipo sustentador, similares a alas de avión, de contorno aerodinámico alabeado y ahusado. Este diseño crea en el viento una diferencia de presión —alta sobre una cara de la paleta, baja sobre la otra cara— que hace girar a las paletas. Una combinación de consideraciones estructurales y económicas impone el uso de tres paletas esbeltas en la mayoría de las turbinas eólicas; menos paletas supondrían una dinámica estructural más compleja, y más paletas, gastar más



en paletas y en los anclajes de éstas en la turbina.

El ventilador de techo, por otra parte, se construye para mover el aire suavemente y que los ocupantes de la habitación se sientan así confortables. Los ingenieros trabajan para minimizar el ruido mientras el ventilador rota (por razones de seguridad) a baja velocidad y para mantener bajos los costos de fabricación y, por tanto, el precio de venta. El rendimiento energético no es lo que más preocupa, pues el funcionamiento es barato: un ventilador de techo típico que funcione 24 horas al día consume unos 60 kilowatt-hora al mes. Por ello, la mayoría de los ventiladores de techo incorporan dispositivos de un rendimiento que, en comparación, es bajo: las paletas inclinadas, al girar, desvían el aire verticalmente. Esas paletas anchas y planas son de fabricación barata y trabajan bien como dispositivos de arrastre aerodinámico. Cuantas más paletas, hasta llegar a cierto punto, mejor, y el habitual

sistema de cuatro o cinco paletas es el resultado de la búsqueda de una solución de compromiso entre eficiencia y gastos.

—Dale E. Berg,

Laboratorios Nacionales Sandia

ESTADISTICA

Inutilidad de los perfiles

En términos matemáticos, el perfilado de individuos —el registro y análisis de sus características psicológicas, raciales o conductuales— no está justificado. William Press, de la Universidad de Texas en Austin, ha descubierto, mediante análisis estadísticos, que la selección de sospechosos basada en su etnicidad no es más eficaz que el muestreo al azar, porque el número de quienes no son terroristas es enormemente mayor que el de terroristas. La metodología óptima consistiría en utilizar un “muestreo en media cuadrática sesgada”, de modo que un sujeto que tuviera nueve veces mayor probabilidad de ser un terrorista que el pasajero medio fuese investigado con triple frecuencia. Este proceder permitiría descubrir a mayor número de terroristas, debido, en parte, a que se evitaría la reiterada inspección de unas mismas personas inocentes por el mero hecho de que casan con el perfil. Dado que tal estrategia sería difícil de poner en práctica, Press afirma que, matemáticamente, lo más razonable es no crear perfiles.

—John Matson



QUIMICA MARINA

Un enigma del calcio

Los excrementos de los peces podrían resolver un misterio que se intenta resolver desde hace años. Al morir plancton marino, los exoesqueletos, que son de carbonato de calcio, se disuelven y tornan alcalina el agua del mar. Sin embargo, en estudios de hace ya tiempo se comprobó que las aguas superficiales eran más alcalinas de lo esperable sólo con la contribución del plancton. Científicos de la Universidad de Exeter han determinado que “cálculos intestinales” de carbonato de calcio, hallados por primera vez hace 20 años en los intestinos de pejesapos podrían abarcar un porcentaje impresionante del carbonato marino. Según sus modelos informáticos, nadan en el océano entre 812.000 millones y 2 billones de kilogramos de peces óseos, que anualmente producirían unos 110.000 millones de carbonato de calcio. Tal cantidad constituye al menos entre un 3 y un 15 por ciento de la producción total de carbonato, si no alcanza hasta un 45 por ciento. Los autores conjeturan que, al elevarse la temperatura del mar y aumentar el dióxido de carbono durante este siglo, los peces podrían producir todavía más carbonato de calcio.

—Charles Q. Choi



Observatorio Pierre Auger

El desafío de estudiar las partículas más energéticas del universo

Cuando Victor Hess, a principios del siglo xx, descubrió un nuevo tipo de radiación proveniente del espacio, no podía ni siquiera soñar que algún día esas partículas darían lugar a una nueva rama de la astronomía. Se trataba de los rayos cósmicos, así bautizados algunos años después.

Se sabe desde hace tiempo que muchas de estas partículas, las de menor energía (o velocidad), llegan desde el Sol, formando el *viento solar*. Como son protones, uno de los componentes del núcleo de los átomos, tienen carga eléctrica, por la cual, igual que producen efectos de gran belleza —las auroras boreales y australes—, causan daños en los satélites que orbitan en torno a la Tierra y provocan interferencias en las comunicaciones.

Los rayos cósmicos de mayor energía provienen de lejanos lugares de nuestra galaxia o, incluso, de fuera de ella. Existen diferentes teorías acerca de cómo se aceleran y en qué fuentes se producen. Cuanto mayor es su energía, más difícil resulta explicar su existencia, ya que son necesarios campos magnéticos muy intensos que actúen dentro de espacios enormes para que las partículas se aceleren hasta las energías más altas. Sólo

las supernovas, los núcleos galácticos activos, las estrellas de neutrones y las explosiones de rayos gamma podrían emitir esos rayos cósmicos.

Una tarea difícil

La información del lugar donde se originaron las partículas, salvo en el caso de las de energía extremadamente alta, se pierde del todo. Los campos magnéticos existentes dentro de las galaxias y en el espacio entre ellas alteran su trayectoria de forma impredecible. Sólo los rayos cósmicos de mayor energía pueden llegar hasta nuestro planeta viajando en línea recta, precisamente debido a la enorme velocidad a la que se mueven. La intensidad de los campos magnéticos a través de los que viajan no es suficiente para desviarlos; pueden señalar así directamente a su fuente de origen. Esto hace que sean fundamentales para una nueva rama de la ciencia, la astronomía de partículas.

Tradicionalmente, la astronomía utiliza la luz en sus diferentes *longitudes de onda* o energías, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma, para obtener información acerca de lo que ocurre en el interior de los objetos que ocupan el universo. Si se pudieran utilizar partícu-

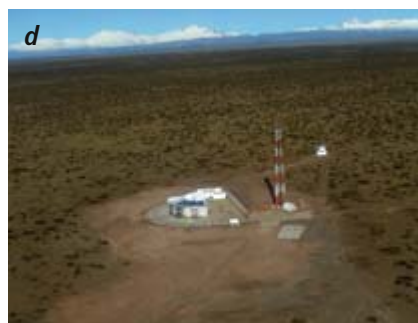
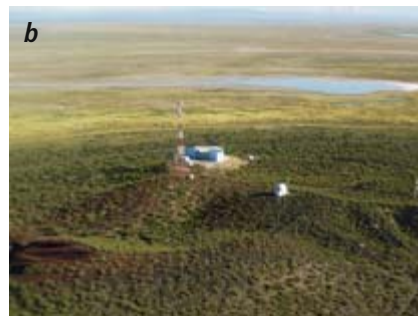
las con el mismo fin, se obtendría información nueva o complementaria que permitiría entender mejor los procesos físicos que se producen en esos lugares remotos.

Los rayos cósmicos de mayor energía sólo pueden estudiarse indirectamente. Cuando una de estas partículas llega a las capas superiores de la atmósfera terrestre, interacciona con un núcleo de alguno de los elementos que componen el aire. La interacción produce una cascada de partículas secundarias, que, para cuando llega al suelo, se extiende sobre varias decenas de kilómetros cuadrados. Toda la energía del rayo cósmico primario se distribuye entre cientos de millones de partículas, o bien se utiliza para crearlas. Estudiando las características de la cascada —número total de partículas, su dirección de avance y el lugar dónde se produce su máximo desarrollo—, podemos deducir las propiedades del rayo cósmico primario.

Construcción del observatorio

El Observatorio Pierre Auger, llamado así en honor del físico francés que descubrió, en los años treinta del siglo pasado, las cascadas de partículas secundarias, se diseñó para estudiar los rayos

OBSERVATORIO PIERRE AUGER



1. Los edificios de Coihueco (a), Los Leones (b), Los Morados (c) y Loma Amarilla (d).

cósmicos de energía extremadamente alta: del orden de 10^{20} eV (electronvolt). La energía de estas partículas cósmicas es equiparable a la que posee una pelota de tenis en un saque potente, sólo que concentrada en un objeto de un tamaño muchísimo menor.

El observatorio cubre una superficie total de 3300 km². Este tamaño descomunal tiene una justificación clara: los rayos cósmicos de mayor energía no abundan. Se estima que, en promedio, sólo llega a nuestro planeta uno por kilómetro cuadrado de superficie cada cien años. La única manera de que el número de eventos registrados permita obtener información útil acerca de estas partículas es cubrir esa enorme superficie con detectores.

No es sencillo encontrar un lugar con una superficie llana tan extensa, mayor que la cubierta por las ciudades más grandes del mundo (la superficie de la ciudad de Buenos Aires, por ejemplo, es unas 16 veces menor). Este fue uno de los motivos de que se eligiese Pampa Amarilla, al sur de la provincia de Mendoza, en Argentina, para emplazar el sitio sur del observatorio. Se trata de una enorme meseta, con una altura promedio cercana los 1400 m sobre el nivel del mar.

El observatorio utiliza dos técnicas diferentes para estudiar los rayos cósmicos: los detectores de fluorescencia, que observan el camino de la cascada de partículas secundarias en la atmósfera, y los de superficie, que registran el arribo de las partículas a nivel del suelo. Se dice, por lo tanto, que es un observatorio *híbrido*. En Argentina se han instalado 1600 detectores de superficie, en una Parrilla triangular de 1,5 km de lado, y 24 detectores de fluorescencia, distribuidos en 4 edificios, que observan el cielo por encima de los primeros.

La construcción en sí misma fue una tarea ardua y complicada; llevó unos seis años. Desde un principio, el Pierre Auger fue pensado como un observatorio con dos ubicaciones, una en cada hemisferio de la Tierra. Dado que los objetos que pueden observarse en el cielo de cada hemisferio son diferentes, ambos sitios son necesarios y permitirán obtener información complementaria. El sitio norte se construirá cerca de la ciudad norteamericana de Lamar, en el estado de Colorado.

El objetivo de tamaño obra es determinar de qué punto del cosmos llegan

esos rayos cósmicos, qué tipo de partículas los componen y, en el mejor de los casos, aprender más sobre lo que sucede en algunos lugares del universo apenas explorados.

Un destello en el cielo

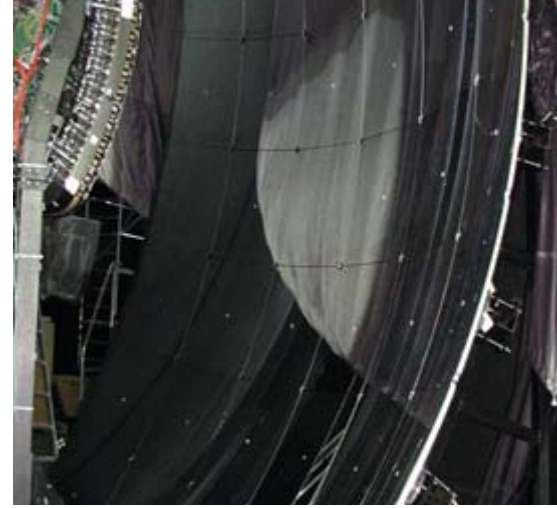
Entre todas las partículas que componen la cascada secundaria destacan los electrones, que interactúan con las moléculas de nitrógeno, muy abundante en la atmósfera terrestre, y producen *fluorescencia*. La luz ultravioleta generada marca el camino de las partículas en su ruta hacia la superficie terrestre. Así recabamos información sobre la dirección y energía del rayo cósmico que las produjo.

Los detectores de fluorescencia utilizan grandes espejos para concentrar esta luz, muy tenue, y *fotomultiplicadores* (detectores de luz muy sensibles) que la transforman en un pulso eléctrico, que se puede analizar; la información consiguiente se guarda en una computadora. Antes de llegar a los espejos, la luz atraviesa por un filtro que permite eliminar la mayor parte de la luz que no se produce por la fluorescencia del nitrógeno (es decir, que tiene otra *longitud de onda*) y que afectaría a la calidad de los datos.

Los espejos concentran la luz de fluorescencia sobre una cámara compuesta por 440 fotomultiplicadores. Se forma una imagen de la cascada, en la que cada fotomultiplicador representa un *píxel*. Analizando esta imagen, descubrimos por qué dirección avanzaban las partículas y cuántas se produjeron a diferentes alturas. La dirección de avance de la cascada es la misma de la partícula primaria.

Diferentes partículas primarias producen cascadas que tienen un máximo desarrollo (es decir, un mayor número de partículas secundarias) a diferentes alturas. Por ejemplo, una cascada originada por un protón tendrá un máximo a una altura menor que si hubiera sido producida por un núcleo de hierro. La posición del máximo puede determinarse utilizando la imagen generada por cada detector de fluorescencia. De esta manera se puede saber, estadísticamente, de qué tipo de partículas se componen los rayos cósmicos estudiados.

Cuanto más energética sea la partícula primaria, mayor número de partículas se producirán en la cascada y, por lo tanto, mayor será la cantidad de luz de fluo-



2. Espejo y cámara de un detector de fluorescencia.

rescencia inducida. La cantidad total de luz captada por un detector de fluorescencia permite así medir directamente la energía del rayo cósmico primario.

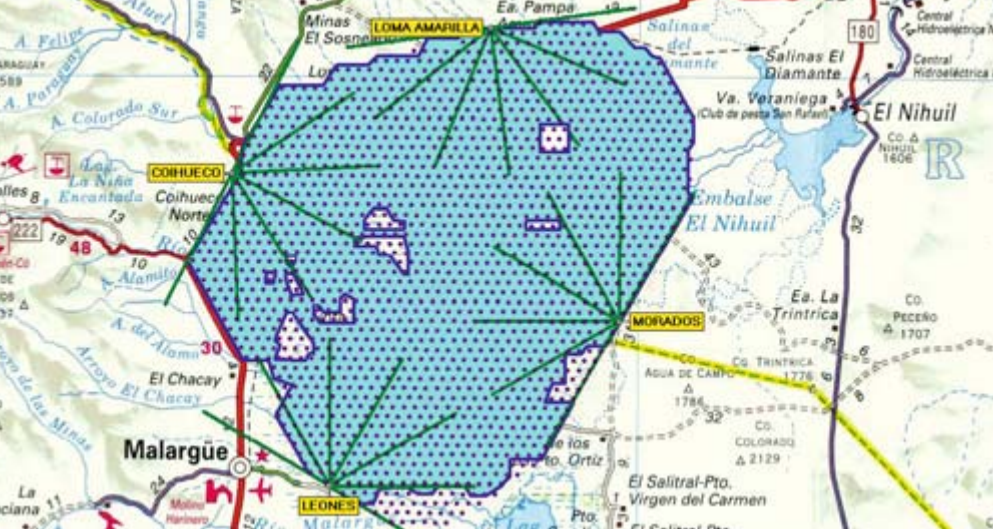
Es fundamental conocer las condiciones atmosféricas en el momento en que los detectores de fluorescencia están funcionando. Que la luz sea absorbida o dispersada (por polvo en suspensión) puede falsear los datos. El observatorio cuenta con varias instalaciones dedicadas al estudio de la atmósfera, cuyos datos sirven para compensar tales disparidades en la cantidad de luz detectada.

Los detectores de fluorescencia operan sólo en noches sin luna, lluvia o nieve, y con la menor cantidad de nubes posible. Esto representa, aproximadamente, el 15 % del tiempo total. El nivel de precipitación anual es bajo en los lugares elegidos para los observatorios sur y norte, que además poseen un cielo exento de contaminación antropogénica.

Un destello en el agua

Para detectar las partículas que llegan al nivel del suelo, se utilizan tanques fabricados en resina de polietileno que contienen, cada uno, 12.000 litros de agua destilada. Cuando una partícula dotada de carga eléctrica viaja a gran velocidad a través de un medio transparente se genera cierta cantidad de luz. Este fenómeno se denomina *efecto Cherenkov* y tiene el mismo origen que la luz azulada que se observa en las fotos de las piscinas de las centrales nucleares.

Cada detector de superficie está equipado con tres *fotomultiplicadores*, similares a los utilizados en los detectores de fluorescencia, aunque de mayor tamaño. Detectan la luz producida por las partículas secundarias en el agua y la convierten en una señal que se puede analizar y almacenar.



3. Mapa de la ubicación del Observatorio Pierre Auger en la Pampa Amarilla, Argentina. Cada punto rojo representa un detector de superficie. Se indican los cuatro edificios, cada uno con 6 detectores de fluorescencia (Los Leones, Los Morados, Loma Amarilla y Coihueco). Las líneas radiales a cada edificio representan el ángulo de cobertura de cada detector.

Puesto que los 1600 tanques están ubicados en lugares de difícil acceso, deben funcionar de forma totalmente autónoma. Utilizan paneles con células solares para cargar dos baterías, que proporcionan la energía necesaria para el funcionamiento de los componentes. Este sistema les permite tomar datos todo el tiempo, día y noche, independientemente de las condiciones climáticas.

La información de un solo detector de superficie no basta para obtener datos acerca de la cascada. Es necesario utilizarlos en *coincidencia*, es decir, combinando la información de todos los tanques que detectaron partículas dentro de un intervalo de tiempo. Además de este modo de funcionamiento, cada vez que algún detector de fluorescencia detecta una cascada, la información de su posición y orientación sirve para determinar si uno o más tanques registraron también las partículas. Esta es la base del funcionamiento *híbrido*, que mejora enormemente la calidad con la que se puede reconstruir la dirección de los rayos cósmicos.

Cada detector de superficie comunica sus datos al edificio de fluorescencia más cercano, desde donde son retransmitidos al Centro de Adquisición de Datos, en la estación central. El funcionamiento de todos los detectores se sigue por control remoto, mediante computadoras. No es necesario trasladarse hasta ninguno de ellos para acceder a los datos.

Los tanques de agua no son el único método de construir detectores de superficie. Otros observatorios, como AGASA en Japón o el *Telescope Array* de EE.UU., utilizan centelladores plásticos. La ventaja de los tanques de agua estriba en su mayor eficiencia para detectar cascadas que llegan a la superficie terrestre con ángulos mayores a 60 grados con respecto a la vertical, o incluso las que son casi horizontales.

¿Qué son y de dónde vienen?

Hay varios datos que llevan a pensar que estos rayos cósmicos de enorme energía son protones, las mismas partículas que forman el *viento* continuo que nos llega desde el Sol, pero provenientes de regiones mucho más lejanas y agitadas. Si la conjetura fuese cierta, las partículas perderían energía en su camino hacia la Tierra en virtud de diferentes procesos, relacionados con la presencia de la *radiación de fondo cósmica de microondas*, el mar de fotones que inunda el espacio, originado poco después del comienzo del universo. Sólo las partículas generadas a menos de 150 millones de años luz de nuestro planeta podrían llegar con una energía cercana a los 10^{20} eV. Esta distancia resulta pequeña con respecto al tamaño del universo visible.

En términos experimentales, ese límite para la distancia desde la que pueden llegarnos los rayos cósmicos se manifes-

taría en forma de una disminución brusca del número de partículas detectadas a partir de una energía determinada. Otros experimentos han registrado esa característica con anterioridad y los datos del Observatorio Auger confirman su existencia.

Los datos obtenidos hasta el momento indican que los eventos no provienen de cualquier dirección con igual probabilidad, sino de fuentes puntuales. Existe una correlación entre la dirección de varios eventos y la ubicación de núcleos galácticos activos cercanos, aunque no se puede asegurar aún que éstos sean las fuentes, debido a que el error en la determinación de la dirección de arribo de los rayos cósmicos sigue siendo excesivo.

Antes del desarrollo de los aceleradores de partículas, en los años cincuenta del siglo pasado, los rayos cósmicos constituían la única manera de estudiar las interacciones físicas en el mundo subatómico. El acelerador más poderoso de los creados, el Gran Colisionador de Hadrones, en el laboratorio europeo CERN, "sólo" alcanzará a producir interacciones entre protones a una energía aproximada de 10^{13} eV, 10 millones de veces menor que la de los rayos cósmicos estudiados por el Observatorio Pierre Auger.

Julio Rodríguez Martino
Observatorio Pierre Auger
Malagüe, Mendoza,
Argentina

Nueva gripe humana de origen porcino

¿Cuánto de nuevo?

El 24 de abril empezó a circular la noticia de casos de infección por una nueva forma de virus de la gripe de tipo A en México, aunque probablemente el virus llevaba semanas circulando

entre humanos. Como era previsible, dado el gran potencial pandémico del virus de la gripe humana, la infección se extendió en pocos días a varios países de cuatro continentes; el número de casos

aumentó a centenares, hasta alcanzar millares en el momento de preparar este artículo para su publicación.

Desde hace años se ha venido advirtiendo del peligro de una nueva pande-