

MARZO 2010

# INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**



## CONSERVACION

Cerco al tráfico  
de marfil

## FISICA

Causa y origen  
de las turbulencias

## GEOLOGIA

Continentes nacidos  
del choque de asteroides

## MEDICINA

Fármacos que dan  
en otro blanco

www.investigacionyciencia.es

# MULTIVERSO

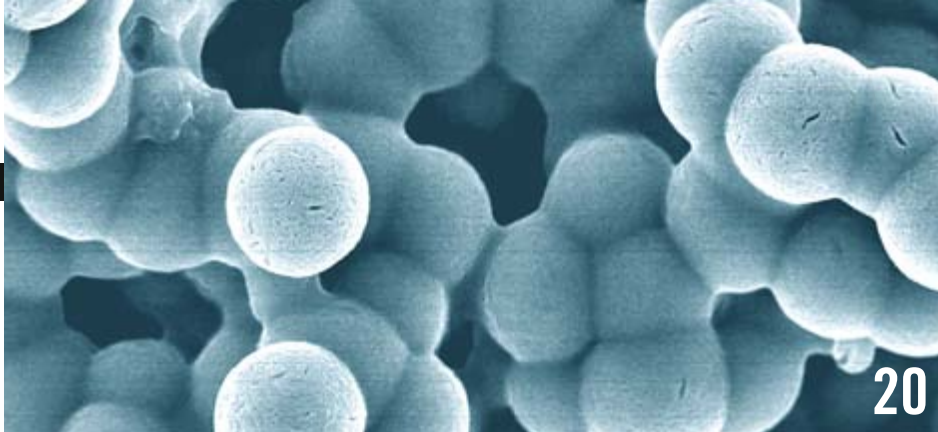
¿Podría haber vida en otros universos?

6,00 EUROS



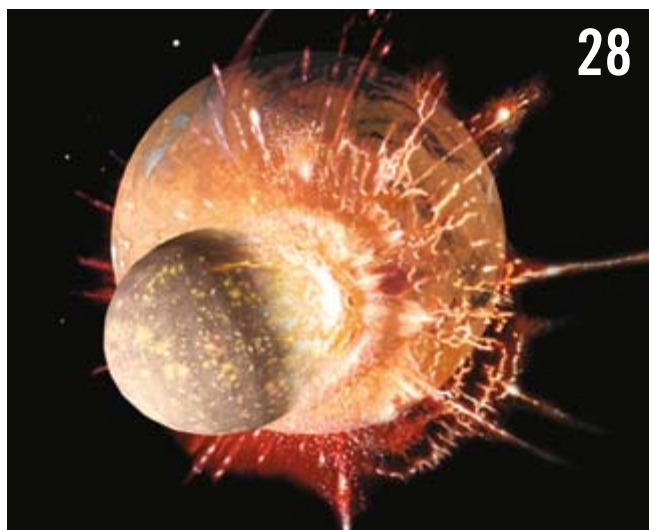
# SUMARIO

Marzo de 2010/Número 402



20

Sabemos ahora que las nanobacterias no son nuevos y exóticos patógenos.



28

Las mayores colisiones de asteroides ocurrieron hace entre 3800 millones y 2500 millones de años.



40

A una guerra nuclear seguiría el colapso de la agricultura y una hambruna general.

## ARTICULOS

### COSMOLOGIA

#### 12 Buscando vida en el multiverso

*Alejandro Jenkins y Gilad Pérez*

Otros universos con diferentes leyes físicas podrían también ser habitables.

### BIOLOGIA

#### 20 Apogeo y caída de las nanobacterias

*John D. Young y Jan Martel*

Antaño consideradas patógenos, estas extrañas partículas intervinen en la salud, aunque no con la función que se les atribuía.

### GEOLOGIA

#### 28 El origen violento de los continentes

*Sarah Simpson*

Se propone que los impactos de asteroides en los años de juventud del planeta gestaron los elementos componentes de las masas continentales. ¿Es cierta tal hipótesis?

### CLIMA

#### 40 Repercusión planetaria de una guerra nuclear regional

*Alan Robock y Owen Brian Toon*

Una guerra nuclear regional entre India y Pakistán podría oscurecer el sol y matar de hambre a buena parte de la humanidad.

### COMPUTACION

#### 48 Microchips del futuro inmediato

*La redacción*

El retroceso de los límites del diseño consigue circuitos integrados cada vez más diminutos, rápidos y económicos.

### MEDICINA

#### 54 Enfermedades tropicales olvidadas

*Peter Jay Hotez*

Los pueblos pobres sufren enfermedades crónicas que les impiden salir de la penuria.





12

Podrían haber surgido otros muchos universos, cada uno con sus leyes físicas.



El tratamiento de numerosas enfermedades tropicales es sencillo.



La turbulencia constituye uno de los problemas más complejos de la física clásica.

## FISICA

### 60 El enigma de Osborne Reynolds

*Alvaro Meseguer y Fernando Mellibovsky*

Se ha dado un paso importante hacia la resolución de un problema formulado hace ya más de 125 años.

## INTERNET

### 70 Delincuencia informática

*Lorrie Faith Cranor*

La comprensión de conductas que favorecen la delincuencia informática permitirá perfeccionar la protección de los usuarios.

## CONSERVACION

### 76 La senda del marfil

*Samuel K. Wasser, Bill Clark y Cathy Laurie*

Nuevas herramientas forenses basadas en el análisis de ADN ayudan a frenar la caza furtiva de elefantes.

## FARMACOLOGIA

### 84 Fármacos alostéricos

*Melinda Wenner*

Se están elaborando medicinas que obran su poder actuando sobre puntos inesperados de las biomoléculas.

## SECCIONES

### 3 HACE...

50, 100 y 150 años.

### 4 APUNTES

### 6 CIENCIA Y SOCIEDAD

### 36 DE CERCA

Arquitectura de las diatomeas, por *Alicia Duró* y *José García Valero*

### 38 DESARROLLO SOSTENIBLE

La necesidad de un proceso abierto, por *Jeffrey D. Sachs*

### 39 CIENCIA Y GASTRONOMIA

Cocina al vacío, por *Pere Castells*

### 90 CURIOSIDADES DE LA FISICA

Empuje lumínico, por *Jean-Michel Courty* y *Edouard Kierlik*

### 92 JUEGOS MATEMATICOS

Angeles y demonios, por *Gabriel Uzquiano*

### 94 LIBROS

# INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.<sup>a</sup> Valderas Gallardo  
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella  
COORDINADORA DE EDICIONES Laia Torres Casas  
PRODUCCIÓN M.<sup>a</sup> Cruz Iglesias Capón  
Albert Marín Garau  
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez  
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia  
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado  
Olga Blanco Romero  
EDITA Prensa Científica, S.A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona (España)  
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413  
www.investigacionyciencia.es

## SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF Mariette DiChristina  
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting  
CHIEF NEWS EDITOR Philip M. Yam  
SENIOR WRITER Gary Stix  
EDITORS Davide Castelvecchi, Graham P. Collins,  
Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer,  
George Musser, Christine Soares, Kate Wong  
CONTRIBUTING EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,  
Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway,  
Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie,  
Michael Shermer, Sarah Simpson  
ART DIRECTOR Edward Bell  
MANAGING PRODUCTION EDITOR Richard Hunt  
PRESIDENT Steven Inchoombe  
VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION Frances Newburg  
VICE PRESIDENT, FINANCE AND BUSINESS DEVELOPMENT Michael Florek

## DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

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

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> - 08021 Barcelona

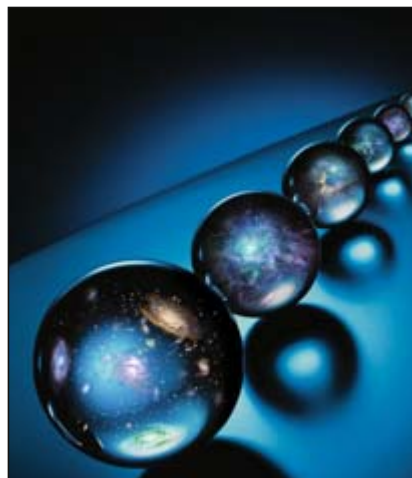
## PUBLICIDAD

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

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### Asesoramiento y traducción:

Ernesto Lozano Tellechea: *Buscando vida en el multiverso*; Juan Manuel González Mañas: *Apogeo y caída de las nanobacterias*; Sónia Ambrós i Albesa: *El origen violento de los continentes*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*; J. Vilardell: *Repercusión planetaria de una guerra nuclear regional, Hace... y Curiosidades de la física*; Francesc Asensi: *Enfermedades tropicales olvidadas*; Luis Bou: *Delincuencia informática, Fármacos alostéricos y Apuntes*; Joandomènec Ros: *La senda del marfil*; Bruno Moreno: *Apuntes*



Portada: Kazuo Kawai, *Getty Images* (fotografía), Jean-Francois Podevin (galaxias)

## SUSCRIPCIONES

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

### Precios de suscripción:

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

### Ejemplares sueltos:

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

Difusión  
controlada

Copyright © 2010 Scientific American Inc., 75 Varick Street, New York, NY 10013-1917.

Copyright © 2010 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> 08021 Barcelona (España)

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

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

Imprime 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

**Agricultura moderna.** «Los israelitas del siglo xx llegaron a un país de dunas invasoras de unas tierras costeras antaño verdeantes, de ciénagas palúdicas y de cerrros calizos, pelados, de los que se estima que una capa de un metro de tierra fértil [mantillo] fue extraída, cribada y esparcida como lavado estéril sobre las llanuras o arrastrada por las inundaciones. El suelo de Israel había corrido la misma suerte que la tierra en todo Oriente Medio. Con la decadencia del Imperio Bizantino, hace 1300 años, declinaron la productividad y la población. Hoy la mayoría de los pueblos del mundo habitan en tierras donde la humanidad lleva más tiempo viviendo en sociedades organizadas. En ellas, los suelos agrícolas se encuentran en el peor estado. El ejemplo de Israel muestra que es posible recuperar la tierra y que el consiguiente aumento en el suministro de alimentos puede vencer el aumento de población mundial que, a fin de siglo, duplicará los actuales 2800 millones.»

## ...cien años

**Curie, Debierno.** «Según la teoría de las transformaciones radiactivas, la cantidad de polonio presente en los minerales radiactivos debe ser muy reducida. Según esa teoría, el polonio procede del radio, y la proporción relativa de ambas sustancias en los equilibrios radiactivos es igual al cociente entre sus vidas medias. Puesto que la vida media del radio es de unas 5300 veces la del polonio, y que el radio se encuentra en la pechblenda en la proporción aproximada de 0,2 gramos por tonelada, resulta que el mismo mineral no puede contener más de unos 0,04 miligramos de polonio por tonelada. En fecha reciente hemos acometido una investigación química con la idea de preparar polonio concentrado. La hemos llevado a cabo con las toneladas de residuos de mineral de uranio que para ello fueron puestas a nuestra disposición.

—M<sup>de</sup>. Curie y A. Debierno.»

**Monitorización clínica.** «Es de la máxima importancia que el médico se mantenga informado de la variación de la temperatura sanguínea. Según la práctica actual, se toma la temperatura a intervalos regulares, tres o cuatro veces al día, por ejemplo, con un termómetro sensible. Por supuesto, esa práctica no ofrece información alguna respecto a las oscilaciones térmicas que puedan haberse dado entre dos lecturas y que, en algunos casos, sería deseable conocer. Un fabricante berlinés ha perfeccionado recientemente un aparato que permite registrar de forma automática y continua ese importante dato (véase ilustración).»

## ...ciento cincuenta años

**Espejos ustorios.** «Importante para los exportadores de algodón: ¡Cuidado con los ojos de buey! Se ha observado (dice el *New York Tribune*) que los incendios ocurridos con tanta frecuencia en los buques con carga de algodón se han limitado principalmente a barcos

norteamericanos, en los que los convexos portillos de las bandas tienen una peculiaridad. Los buques extranjeros rara vez los emplean para iluminar; en ellos no se ha declarado ni un solo incendio en nuestros puertos algodonereros. La teoría es que el ojo de buey actúa a modo de espejo ustorio cada vez que la luz del sol lo atraviesa y prende fuego a todo artículo combustible que se halla en su foco.»

**Vacúnese.** «‘El gas [de iluminación de interiores] es, se supone, un potente desinfectante y, por ello, no hay contagios dentro de su círculo de influencia.’ Reproducimos la frase anterior al objeto de poner en tela de juicio la conclusión de que el gas protege de la viruela. Esta es, sin duda, poco frecuente entre las personas que en nuestras ciudades emplean luz de gas, ya que acostumbran ser lo bastante inteligentes y previsoras para preocuparse de que su familia se vacune; los estragos de la viruela se limitan casi exclusivamente a las clases faltas de previsión que no se protegen contra la viruela, ni contra otras amenazas futuras y que viven bajo luz de ligroína.»



TEMPERATURA CORPORAL: monitorización eléctrica continua, 1910.



## ARQUEOLOGIA

### Muro galo en Hérissou

Los galos construían un tipo particular de muralla: el *murus gallicus*. En Hérissou, población del Allier, en Auvernia, los arqueólogos de la Asociación para la Investigación de la Edad de Hierro en Auvernia acaban de encontrar la puerta principal de una fortaleza del siglo I a. C. Su estructura, intacta en sus dos primeros metros de altura, está integrada en el *murus gallicus* mejor conservado que se haya encontrado hasta la fecha. Las investigaciones que se están realizando en Hérissou se proponen descubrir cómo fue la Chateloy gala. Esta fortaleza se encuentra en un promontorio sobre el valle del Aumance. Sus potentes fortificaciones son aún visibles bajo la forma de un imponente talud de 800 metros de largo.

Las investigaciones se centran ahora en la puerta principal. El *murus gallicus* que la flanquea es una construcción de tierra consolidada por vigas horizontales entrecruzadas y ligadas unas a otras, y protegida por un paramento de piedras sin argamasa. La puerta era la entrada obligada de los carros, los mercaderes, los jinetes y las tropas. Tiene un vano de siete metros de ancho; el corredor de entrada está marcado por las profundas hendiduras talladas por el paso repetido de los carros. La entrada muestra indicios de maderas carbonizadas y trazas de fuego en el suelo y las piedras. Son indicios de un incendio. Las marcas de grandes postes de madera indican que hubo una construcción de entrada



para el control de la circulación, ya que se hallaba sobre el pórtico por donde se entraba en aquel lugar. Es verosímil que el incendio que sufrió esta puerta monumental tenga que ver con uno de los episodios de la guerra de las Galias narrados por Julio César: Vercingétorix ordenó en la primavera de 52 a.C. que se quemasen veinte aldeas de los bitúrigos, uno de los pueblos galos, a fin de frenar el avance de las legiones hacia Avaricus (Bourges, la capital de los bitúrigos). Entre las poblaciones así sacrificadas, la protegida por la fortaleza de Chateloy habría sido la primera identificada por los arqueólogos. —François Savatier

## MASAS

### Moderar el vandalismo

Se conoce como “desorden de multitudes en espectáculos futbolísticos” en la bibliografía científica. En la calle, simplemente vandalismo futbolístico. Los tumultos en los partidos internacionales son tristemente famosos por la intensidad de su violencia. Recordemos los disturbios en el estadio Heysel de Bélgica, en 1985, que provocaron la muerte de 39 hinchas durante un partido entre un equipo inglés y otro italiano. Para mantener el orden público, numerosos países inundan con policías antidisturbios los partidos importantes; sin embargo, la exhibición amenazante de uniformes, cascos y porras ejerce a menudo el efecto contrario y opera a modo de detonante.

Los expertos han encontrado una forma mejor de mantener el orden. Clifford Stott y su grupo, de la Universidad de Liverpool, llevaron a cabo un experimento multitudinario en la final de la Eurocopa 2004. Los encargados portugueses de la seguridad aceptaron las recomendaciones de los investigadores de utilizar tácticas no agresivas y de perfil bajo. Por ejemplo: que los agentes de policía más cercanos a los hinchas no mostrasen equipamiento antidisturbios.

Los portugueses desplegaron una media de siete policías por cada cien aficionados durante los partidos de alto riesgo, una cifra muy baja en comparación con la media de un policía por cada dos aficionados durante la Eurocopa 2000, en los Países Bajos y en Bélgica. Sólo un hincha inglés de entre los 150.000 presentes en la Eurocopa 2004 fue arrestado por conducta violenta, mientras que, en la Eurocopa 2000, fue necesario arrestar a un millar de aficionados británicos.

El nuevo estilo *laissez-faire* no irritó a los hinchas de la forma en que lo hacen las legiones de policías antidisturbios. Según parece, las demostraciones de fuerza tienden a despertar la ira de las multitudes, sobre todo si la policía muestra algún favoritismo, como sucedió en un partido en Roma, en 2001, cuando los agentes permanecieron impasibles mientras los fanáticos hinchas italianos arrojaban a los seguidores del Manchester United botellas de plástico llenas de agua.

El grupo de Stott trabaja en la actualidad en un proyecto patrocinado por la Unión Europea para poner en práctica dichos métodos policiales en los Estados miembros.

—Gary Stix



LOS HINCHAS DEL LIVERPOOL animan a su equipo en un partido jugado en casa, en 2007.

## DATOS

### Energía para la Tierra

Las técnicas disponibles permiten obtener suficiente energía de las fuentes renovables para satisfacer varias veces las necesidades del planeta entero, según un informe del Instituto de Observación Mundial publicado en 2009. El informe resume también la cuarta evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático y las políticas necesarias para sobrevivir en un mundo más cálido.

Billones de kilowatt-hora de energía utilizados cada año en el mundo: **132,5**

Años durante los que se podría alimentar una casa de los EE.UU. con esta energía: **13.000 millones**

Billones de kilowatt-hora de energía que, en principio, podrían obtenerse con la técnica actual:

Solar: **444**  
Eólica: **167**  
Geotérmica: **139**  
Biomasa: **69**

Porcentaje de energía total utilizada:  
Por edificios: **40**  
Para la generación de electricidad: **41**

Porcentaje de la energía total generada a partir de fuentes renovables, incluida la hidroeléctrica: **20**

Fracción de energía desperdiciada en forma de calor durante la generación de electricidad:  **$\frac{2}{3}$**

FUENTE: Estado del Mundo, 2009



MATT COLLINS (dibujo); JANIE AIREY (fotos) (desfibrilador); CORBS (cigarrillos)

## CRONOBIOLOGIA

### Mover las manillas es malo para el corazón

El horario de verano podría salvar vidas y también acabar con ellas. Los investigadores del Instituto Karolinska de Estocolmo han estudiado las tasas de infartos de miocardio en Suecia desde 1987, cuyo número aumentaba un 5 por ciento durante la primera semana de aplicación del horario de verano. Un incremento que atribuyen a la perturbación de los hábitos de sueño y los ritmos biológicos.

El adelantar los relojes una hora ayudaría, por otro lado, a evitar accidentes de tráfico, al ser mayor el número de personas que conducen con luz solar. A partir del análisis de 28 años de datos de accidentes automovilísticos, los economistas de RAND sugieren que el cambio que se produjo en 1986 de la ley estadounidense sobre el cambio de hora en verano y en invierno, que trasladó el comienzo del horario de verano del último al primer domingo de abril, produjo una reducción de entre el ocho y el once por ciento en los accidentes con peatones y una reducción de entre el



**UN CORAZON POCO SALUDABLE:** Perder una hora de sueño conlleva un aumento brusco de los problemas cardíacos.

seis y el diez por ciento en los accidentes que sufrían los ocupantes de vehículos.

—Charles Q. Choi

## TABAQUISMO

### Dinero por dejarlo

Cuando el miedo al cáncer de pulmón o a las arrugas no basta, tal vez 750 dólares sean suficientes. Fumadores de cigarrillos a quienes se pagó por abandonar el hábito lo consiguieron con una frecuencia 2,9 veces mayor que los que lo intentaron sólo por razones de salud. A los participantes se les ofrecieron 100 dólares por la asistencia completa a un programa de abandono, otros 250 por no fumar en los seis primeros meses y 400 más por mantenerse "limpios" otros seis meses más. Incluso después de eso, quienes recibieron el dinero tenían 2,6 veces mayor probabilidad de haberse abstenido del tabaco.

—Coco Ballantyne



### Erratum corrige

En el artículo "Geoquímica de los humeros blancos", del mes de febrero, en la página 32, donde dice metanógenos de la familia de los Methanosarcinales, debería decir del orden de los Metanosarcinales.



# ALBA

## *Primeras pruebas operacionales del acelerador propulsor*

**A**LBA es una fuente de luz de sincrotrón de tercera generación que está entrando en la última fase de construcción en Cerdanyola del Vallès, Barcelona. La luz de sincrotrón de ALBA tendrá una calidad, o brillo, de primer orden; se usará para la investigación en un amplio abanico de disciplinas científicas.

La estructura consta de tres aceleradores: el acelerador lineal, el propulsor y el anillo de almacenamiento, amén de siete líneas experimentales de luz (en su fase inicial).

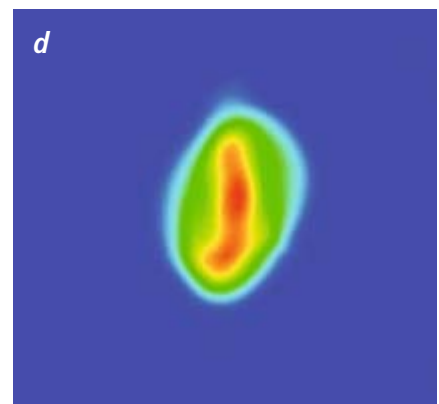
El acelerador lineal entró en funcionamiento el año pasado, en paralelo con la terminación del edificio. En él se crea el haz de electrones y se le acelera hasta 100 megaelectronvolt (MeV). Luego,

el haz se inyecta en el segundo acelerador, el propulsor, donde la energía se incrementa hasta los 3 gigaelectronvolt (GeV, es decir el 99,999999 % de la velocidad de la luz). Esta es la parte más crítica de la cadena de aceleración. Por último, del propulsor, el haz se inyecta en el anillo de almacenamiento, donde los electrones son almacenados para la producción de la luz de sincrotrón.

El propulsor de ALBA, que ha sido, en su integridad, diseñado, montado y sometido a comprobación por personal adscrito a la instalación, es el primer acelerador de alta energía que se construye en España. Este propulsor tiene la emitancia más pequeña de los aceleradores de su clase, lo que repercutirá en que sea altamente eficiente. (Lláma-

se emitancia a la extensión que ocupa el haz de electrones en el espacio de fases con coordenadas de posición y de ángulo.)

En enero del año en curso, durante dos semanas, se realizaron las primeras pruebas operacionales del propulsor, con resultados que demuestran que todos los componentes, subsistemas y equipos funcionan de acuerdo con las especificaciones. Este era el objetivo principal de las pruebas, que se han realizado en un período de tiempo corto y limitado para no entorpecer la fase postrera de la instalación del anillo de almacenamiento y de las líneas experimentales de luz. Por mor de precisión, la primera prueba se realizó el 21 de diciembre de 2009, por la noche, cuando por primera vez se in-



Edificio de ALBA (a). Aceleradores de ALBA, vista del túnel (b). Parte visible de la luz de sincrotrón captada por una cámara con dispositivo de carga acoplada (CCD) en el propulsor de ALBA (c). Imagen tratada del haz de electrones al interaccionar con una pantalla fluorescente (d).



yectó, desde el acelerador lineal, un haz de electrones en el propulsor.

El lunes 11 de enero se reiniciaron todos los sistemas y se volvió a inyectar en el propulsor. A partir de ese momento contábamos con dos semanas para demostrar que el propulsor funcionaba correctamente. El martes 12, se consiguió dar la primera vuelta completa al propulsor y en unas pocas horas el haz de electrones ya circulaba durante un centenar de microsegundos, es decir, realizaba más de cien vueltas antes de decaer. La observación del fenómeno confirmaba que los imanes y fuentes de potencia operaban de acuerdo con lo previsto.

Durante varios días se realizaron ajustes en los parámetros de los imanes y se tomaron mediciones iniciales de las características del haz de electrones para conseguir que el haz sobreviviese más tiempo dando vueltas alrededor del propulsor. Al cumplir la vuelta número

10.000, sabíamos que podíamos pasar a intentar almacenar el haz indefinidamente. Para ello, había que poner en funcionamiento el sistema de radiofrecuencia, que proporciona la energía necesaria al haz de electrones para que no decaiga. A las 15:30 del domingo 17, el haz se almacenó en el propulsor a la energía de 105 MeV.

Nos quedaba una semana para acometer la tarea más crítica. Consistía en acelerar el haz de la energía inicial, 105 MeV, hasta una energía intermedia y someter a prueba el último eslabón: la aceleración del haz con todos los sistemas sincronizados perfectamente. Dos días después, el martes 16 por la noche, se consiguió este último objetivo, acelerar el haz hasta 600 MeV. Por primera vez en España se observó la emisión de luz de sincrotrón.

Aún nos quedaba caracterizar el haz y el acelerador para poder realizar la cali-

bración de los componentes que nos permitirán realizar simulaciones precisas.

Aunque, ante el éxito de las pruebas, se decidió intentar durante un día acelerar el haz hasta la máxima energía, 3 GeV. Se consiguió llegar hasta 2,7 GeV con una corriente de 0,7 miliampère (mA). Esto significa el 90 % y el 70 % respectivamente de los valores finales.

Los tres últimos días se dedicaron a registrar mediciones de todos los parámetros del haz y del acelerador.

Estos excelentes resultados son motivo de gran satisfacción y también una motivación añadida para cumplir los siguientes retos: la operación del anillo de almacenamiento, en otoño, y finalmente; la entrada en operación de la instalación, prevista para principios del 2011.

Francis Pérez

ALBA

Cerdanyola del Vallès (Barcelona)

## La vida turbulenta del plancton oceánico

*El fitoplancton marino presenta una biodiversidad sorprendente, paradójica. A ello contribuye la gran variabilidad del medio físico oceánico*

**E**l mar, siempre poderoso y a veces terrible, constituye el hogar de una inmensa variedad de formas de vida. Alberga una biodiversidad fascinante, que va desde el necton (organismos con capacidad natatoria) hasta el plancton (organismos sin capacidad natatoria, que son arrastrados por la corriente). El plancton que realiza la función clorofílica (fitoplancton), integrado sobre todo por organismos unicelulares de tamaño microscópico, presenta una biodiversidad sorprendente y, hasta cierto punto, inesperada: en una muestra de agua de mar no mayor que un vaso podemos encontrar decenas de especies de fitoplancton.

En todo sistema ecológico, cada organismo ocupa un lugar en la red trófica y está capacitado para la explotación de determinado conjunto de recursos (energía o nutrientes). En ocasiones, aparece una especie nueva que disputa los mismos recursos que la preexistente. La especie mejor adaptada al medio proliferará; la perdedora acabará desapareciendo. Esa es la lógica implacable del equilibrio trófico. Cuando dos o más es-

pecies compiten por unos recursos limitados, el ganador se lo lleva todo. La naturaleza aplica una navaja de Occam radical: poda todo lo que no es más que una burda repetición de lo que ya funciona. Ese principio de exclusión competitiva, ¿se aplica también al mar?

### Biodiversidad paradójica

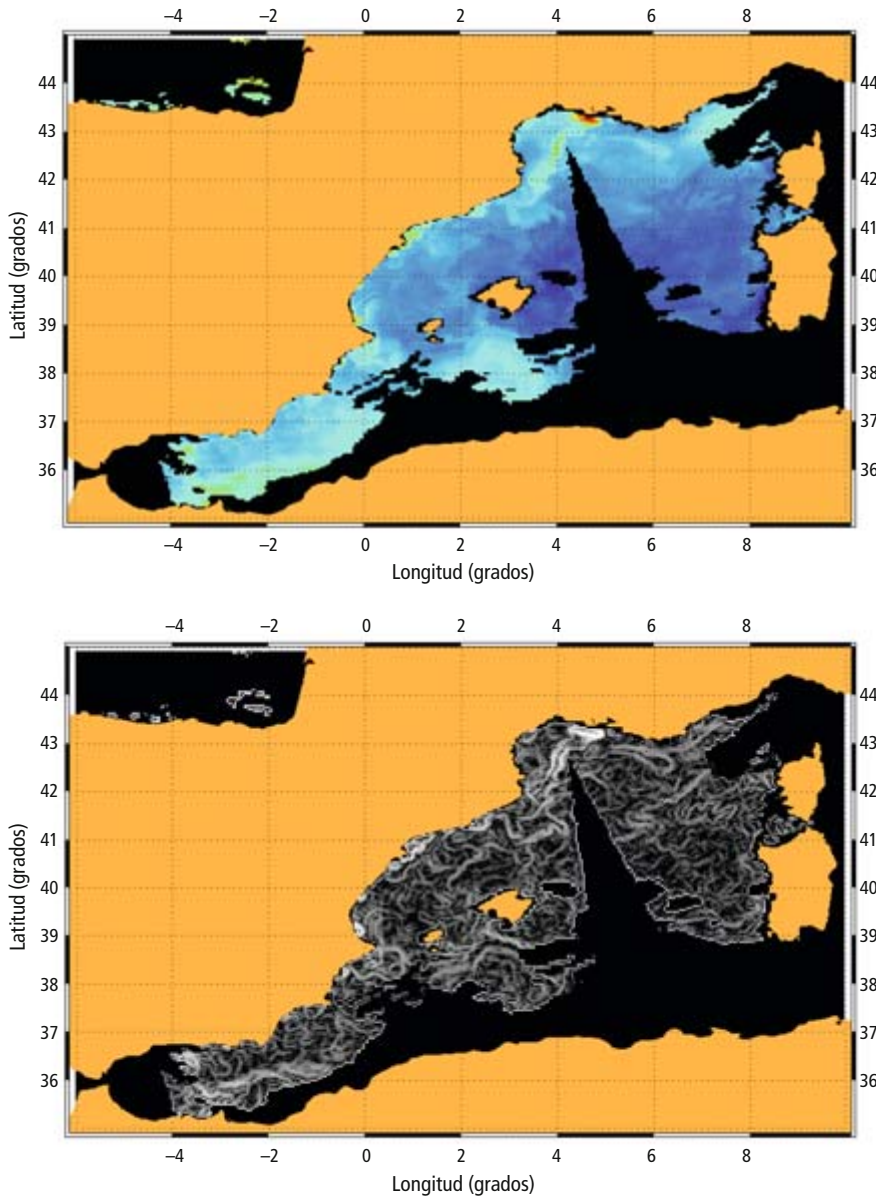
En un famoso artículo de 1961, G. E. Hutchinson destacó la enorme diversidad del fitoplancton en un entorno como el marino, en apariencia homogéneo y sin barreras naturales que pudieran crear “islas de diversidad”. Según la “paradoja del plancton” de Hutchinson, la diversidad del plancton oceánico resulta, desde el punto de vista ecológico, excesiva, con numerosas especies semejantes que compiten por los mismos recursos. Algún factor equilibra las tornas e impide que haya un ganador claro. ¿De qué factor se trata?

La investigación de esa paradoja no ha sido fácil. A ello ha contribuido la dificultad de reproducir en un laboratorio el entorno marino. En el mar, tienen lugar de forma simultánea gran número

de procesos físicos, químicos y biológicos que controlan el desarrollo de las comunidades planctónicas.

El fitoplancton vive en el filo de la navaja: por un lado, necesita los nutrientes, arrastrados sobre todo del fondo marino por procesos físicos complejos; por otro, debe permanecer en una delgada zona cercana a la superficie donde penetra la luz y tiene lugar la función clorofílica (zona fótica). Si las corrientes no arrastran los nutrientes hasta la zona fótica o las células de fitoplancton son arrastradas hacia las profundidades marinas, no podrán dividirse y probablemente terminarán siendo pasto de algún herbívoro. Asimismo, ciertas especies de fitoplancton resultan dañadas si la turbulencia es demasiado intensa.

La relación entre el fitoplancton y el medio fisicoquímico fue analizada por Ramón Margalef en 1978. Fruto de esos estudios es su conocido “mandala”, en donde se destaca la función clave de la turbulencia o del estado del medio físico en la selección de grupos de fitoplancton, en función del tamaño, velocidad de sedimentación o movilidad, capaci-



Mapa de concentración superficial de clorofila obtenido a partir de imágenes del satélite MODIS para el 16 de agosto de 2009 (arriba). Mediante el análisis de singularidad de esas imágenes se obtienen los patrones de circulación (abajo).

zados en el espacio (*patches*, en inglés). Además, técnicas finas de análisis de estructura (análisis de singularidad) revelan que la distribución de esas algas está fuertemente condicionada por los patrones de circulación de mesoescala. En un artículo de 2007 demostramos, junto con otros investigadores, que el análisis de singularidad aplicado a las imágenes de satélite de concentración de clorofila describía los patrones de circulación. Por tanto, aun cuando amplias áreas del océano parezcan presentar una concentración homogénea de clorofila, ésta sigue fielmente los patrones que le marca la circulación.

El fitoplancton se halla en la base de la pirámide trófica de los ecosistemas marinos; de forma directa o indirecta, sirve de sustento a numerosas especies marinas, incluidas las especies comerciales de peces (anchoa, sardina y atún, entre otras). Por tanto, conocer la distribución y ecología del fitoplancton es necesario para mejorar la gestión pesquera. Asimismo, la concentración de ciertas especies de fitoplancton crece en ocasiones de forma exponencial y da lugar a proliferaciones nocivas con capacidad de producir efectos dañinos para el hombre u otras especies.

La función clorofílica marina permite que el océano opere a modo de sumidero de  $\text{CO}_2$ , pero al propio tiempo hace que aumente ligeramente el calentamiento de las capas de agua superficiales. Los organismos del fitoplancton producen compuestos sulfurados que son transformados por la red trófica marina y exportados a la atmósfera, donde operan constituidos en núcleos de condensación de nubes y favorecen la precipitación. Todo ello pone de manifiesto la importancia del plancton. Entender su comportamiento y su función en la biosfera constituye uno de los grandes retos de la oceanografía marina.

dad de absorción de nutrientes y otras propiedades.

A lo largo de los años se han propuesto numerosas teorías, de menor o mayor complejidad, para esclarecer la paradoja del plancton. Hutchinson sugirió que los continuos cambios ambientales experimentados por el medio acuático podían contribuir al mantenimiento de la diversidad fitoplanctónica. Sabemos ahora que el factor fundamental que evita el principio de exclusión es la enorme variabilidad del entorno físico oceánico, en un amplísimo rango de escalas: desde la turbulencia de pequeña escala (generada por el viento, con tamaños que van de milímetros a metros) hasta patrones de mesoescala (frentes y remolinos creados por la aceleración de Coriolis, con ta-

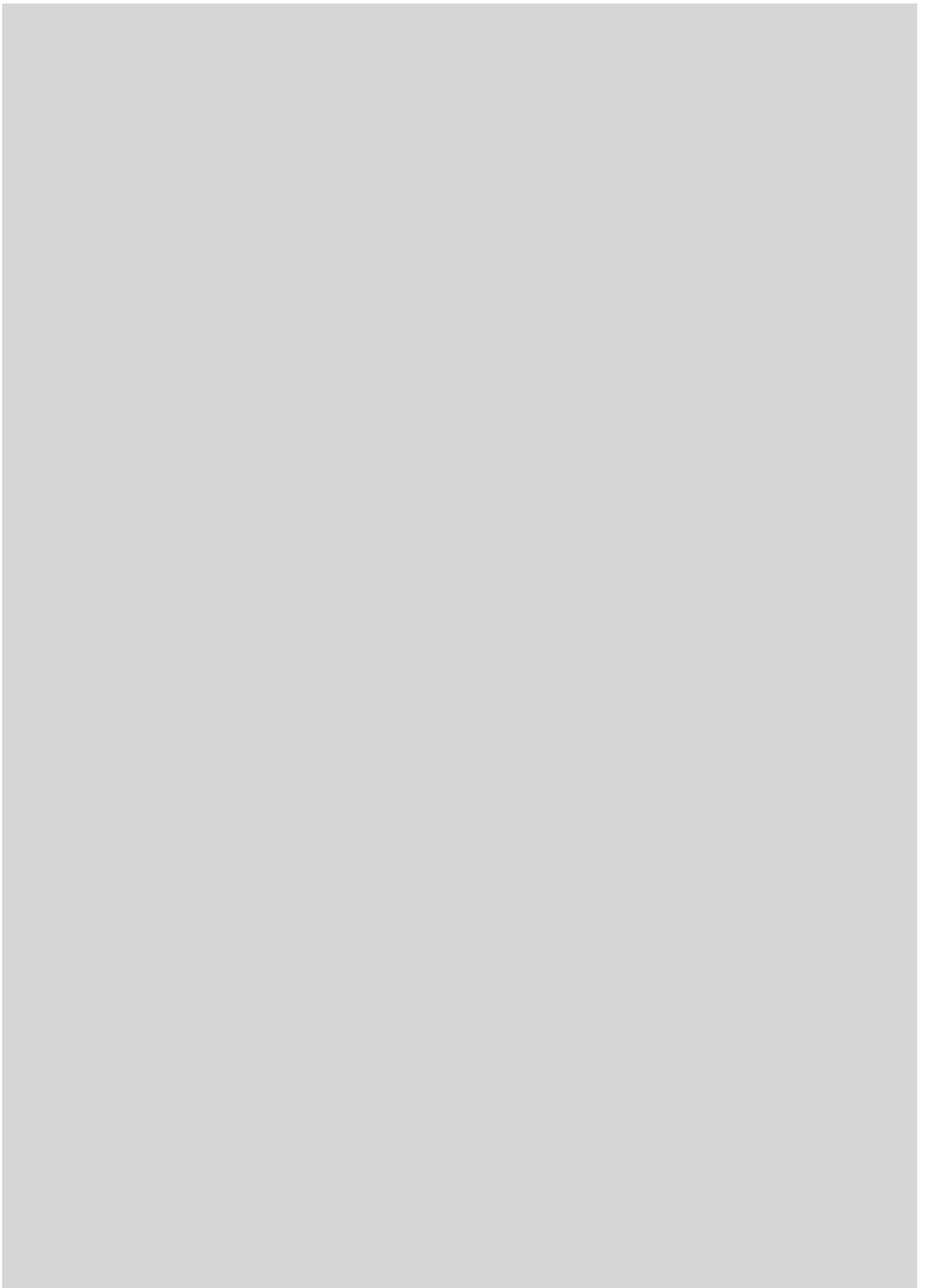
maños de entre 10 y 500 kilómetros) y de dimensiones mayores.

Por otra parte, M. Scheffer y sus colaboradores mostraron en 2003 que, incluso en ambientes constantes, las interacciones entre múltiples especies podían dar lugar a oscilaciones caóticas que mantendrían la comunidad en un continuo desequilibrio y evitarían la exclusión competitiva.

### Patrones de distribución

Estudios recientes han evidenciado, mediante mapas de concentración superficial de clorofila obtenidos por satélite, la variabilidad de las estructuras oceánicas y su conexión con el comportamiento del fitoplancton. Los resultados muestran que las algas con clorofila forman parches intermitentes más o menos locali-





# La depredación de semillas

*Un servicio del ecosistema para el manejo biológico de las “malas hierbas” en los cultivos herbáceos*

Los sistemas agrícolas son ecosistemas —sistemas vivos, pues— en los que las especies se relacionan entre sí y con el medio, regulándose y equilibrándose. Sin embargo, la intensificación de la agricultura ha eliminado muchas de sus interacciones y funciones, y las ha sustituido por insumos externos, sean productos fitosanitarios, sean abonos sintéticos, con el objetivo de maximizar un solo componente, el cultivo. No obstante, existen aún multitud de plantas y organismos que han coevolucionado con los cultivos a lo largo de la historia y siguen cumpliendo, en algunos casos, esas funciones; tal diversidad recibe el nombre de “biodiversidad funcional”.

Dentro de ese grupo se encuentran los “depredadores de semillas”, organismos cuya alimentación se basa principalmente en semillas. Destacan especies tan distintas como las hormigas granívoras (de los géneros *Messor* o *Pogonomyrmex*, por ejemplo), algunos escarabajos (coleópteros Carabidae, así el género *Harpalus*), algunas especies de grillos (entre ellas *Gryllus pennsylvanicus*), pequeños roedores (como *Mus spretus*) y pájaros. Todas estas especies desempeñan una importante función en la regulación de los procesos demográficos de las malas hierbas.

En los años noventa, algunos estudios sobre la dinámica de poblaciones de las malas hierbas en campos de cultivo observaron que entre un 70 y un 99 por ciento de las semillas producidas anualmente no llegaban a emerger como plántulas al año siguiente ni formaban parte del banco de semillas del suelo. La magnitud de las pérdidas llevó a preguntarse por el destino final de todas esas semillas. Estudios posteriores han apuntado a la depredación como causa principal de la reducción.

## La depredación de semillas en los campos de cereales de invierno

En los campos de cereales de invierno (trigo, cebada), las malas hierbas florecen y dispersan sus semillas durante la primavera y el verano, normalmente antes de la cosecha del cereal. Desde ese momento, las semillas están disponibles

en la superficie del suelo para los depredadores. La mayoría de éstos suelen tener su pico de actividad también en esas fechas, por lo que hay simultáneamente disponibilidad de semillas y actividad de depredadores. Además, un alto porcentaje de esos depredadores son generalistas, es decir, no están especializados en el consumo de una especie determinada, sino que se alimentan de las que se encuentran disponibles en cada momento. De ese modo, el consumo de las semillas de malas hierbas presentes en la superficie del suelo ayuda a reducir el banco de semillas y dis-

minuye problemas potenciales en las siguientes campañas.

Así, muchos organismos a los que se les había prestado poca atención hasta este momento han pasado a ser una herramienta más a tener en cuenta en el manejo integrado de las malas hierbas. Un ejemplo perfecto de un “servicio” proporcionado por el propio agro-ecosistema.

## Efecto del manejo de los cultivos sobre la depredación de semillas

Los depredadores de semillas pueden vivir y alimentarse en el interior de los



1. Nido de la especie de hormigas granívoras *Messor barbarus* L. en un campo de cereal, no sometido a laboreo, en el mes de agosto.