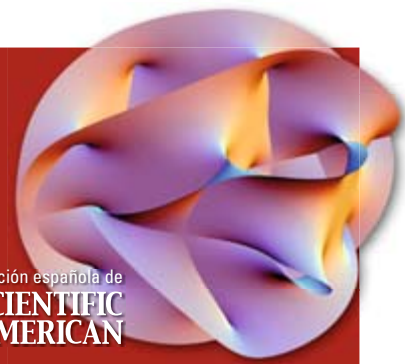


OCTUBRE 2009

INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**



GALILEO

Cielo y tierra
en un solo mundo

ECOLOGIA

Los nuevos límites
del crecimiento

MEDICINA

Celiaquía: más allá
del gluten

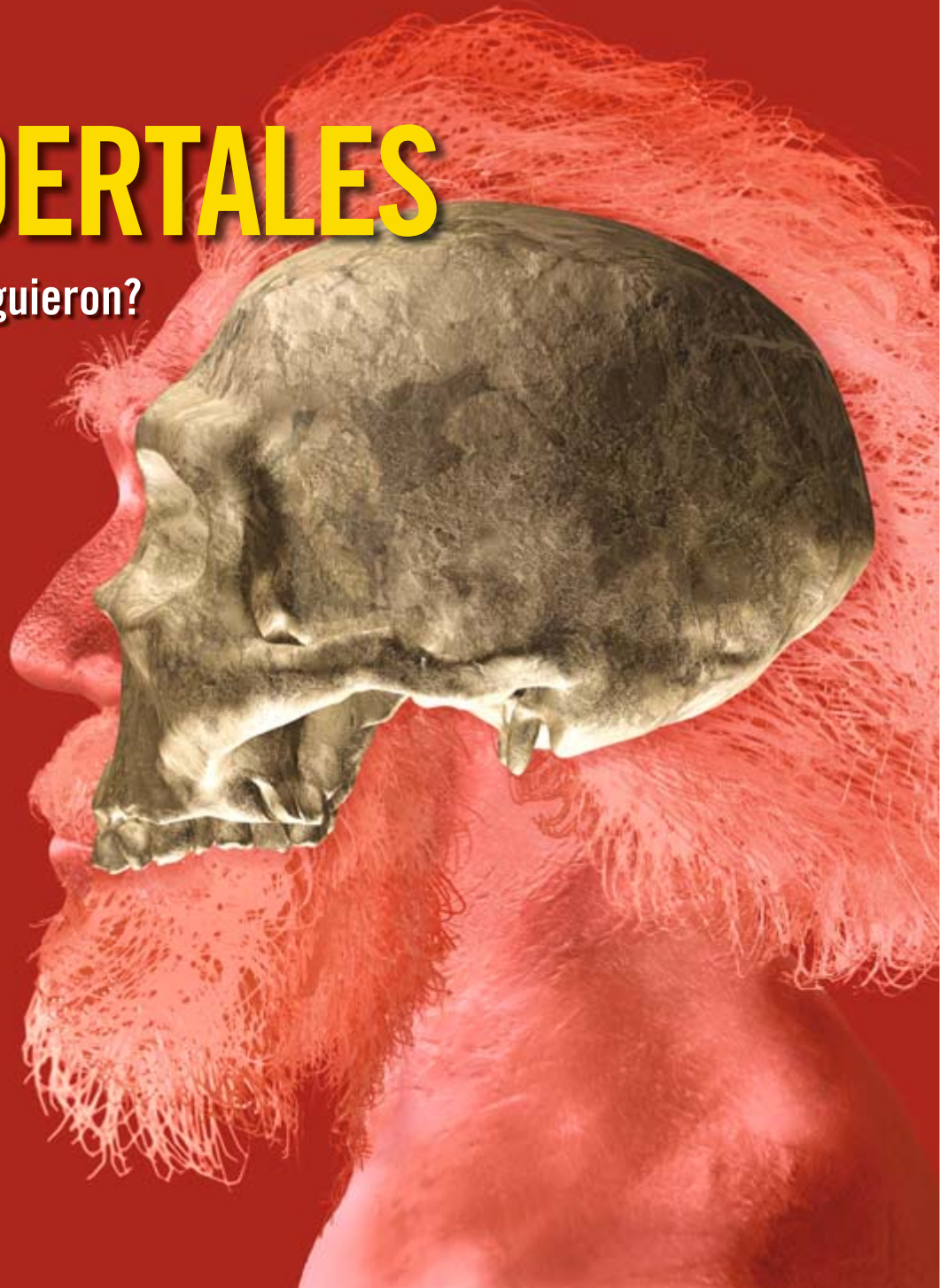
FISICA

¿Demostrará el LHC
la teoría de cuerdas?

www.investigacionyciencia.es

NEANDERTALES

¿Por qué se extinguieron?



6,00 EUROS





Formas insospechadas de moverse en el vacío.



¿Dónde se podrán guardar los residuos nucleares de alta actividad?



El gluten no es el único factor que desencadena la enfermedad celíaca.

ARTICULOS

EVOLUCION HUMANA

16 La extinción de los neandertales

Kate Wong

El hombre moderno y el neandertal coexistieron en Europa durante miles de años. ¿Por qué desaparecieron unos homínidos tan semejantes a nosotros?

RELATIVIDAD GENERAL

22 Aventuras en el espaciotiempo curvo

Eduardo Guéron

La posibilidad de “nadar” y “planear” en un espacio curvo y vacío muestra que, pasados más de noventa años, la teoría de la relatividad general de Einstein sigue sorprendiendo.

ENERGIA

30 Residuos nucleares: ¿nuevas soluciones?

Matthew L. Wald

El monte Yucca era la solución propuesta para el problema de EE.UU. con los residuos nucleares. Transcurridos 22 años, esa idea se ha desvanecido. Ahora, según algunas voces, la solución más inteligente a corto plazo sería no hacer nada.

MEDICINA

40 Causas de la enfermedad celíaca

Alessio Fasano

Gracias al estudio de esta patología provocada por los alimentos se ha descubierto un proceso que quizás actúe en numerosas enfermedades autoinmunitarias.

HISTORIA

49 Dos mundos, una física

Jochen Büttner

Galileo y sus contemporáneos superaron la estricta separación entre una física del firmamento y otra de la Tierra que había dominado el pensamiento transmitido desde la antigüedad griega.

FISICA DE ALTAS ENERGIAS

60 La teoría de cuerdas y el LHC

Luis E. Ibáñez

La teoría de cuerdas es la candidata más firme a teoría unificada de las interacciones de la naturaleza. El gran colisionador de hadrones, LHC, de Ginebra, podría dar importante información experimental sobre su validez.

16

¿Tuvo algo que ver *Homo sapiens* con la desaparición de los neandertales?



¿Se podría contrastar la teoría de cuerdas en el LHC?



El crecimiento de la población y la economía quizá se tope pronto con la finitud de los recursos.

ECONOMIA

69 Los límites del crecimiento tras el cenit del petróleo

Charles A. S. Hall y John W. Day, Jr.

En los años setenta, el interés se centraba en el crecimiento demográfico mundial y la limitación de los recursos disponibles para sostenerlo. La cuestión perdió actualidad, pero es hora de volver a pensar en ella.

MATERIALES

78 Claves de la superconductividad a altas temperaturas

Graham P. Collins

Se ha descubierto que los pnicturos de hierro superconducen a 50 grados sobre el cero absoluto. El hallazgo reaviva la búsqueda de mejores superconductores de alta temperatura y arroja luz sobre el fenómeno.

SECCIONES

3 HACE...

50, 100 y 150 años.

4 PUESTA AL DIA

Cuasicristales naturales... Memoria de muy larga duración... Sólo con proteínas... Exploración de Marte.

6 APUNTES

Arqueología... Física... Cambio climático... Zoología... Biología... Fluidos.

8 CIENCIA Y SOCIEDAD

La silenciosa pandemia de las abejas... Pnicturos de hierro... Iluminación cuántica.

38 DE CERCA

Defensa imposible, por *Anna Gili, Mercè Rodríguez y Josep-Maria Gili*

86 TALLER Y LABORATORIO

Convección de Bénard, por *Marc Boada*

89 DESARROLLO SOSTENIBLE

Buenas noticias sobre el control de la malaria, por Jeffrey D. Sachs

90 JUEGOS MATEMATICOS

Viajes a través del tiempo, por *Agustín Rayo*

92 IDEAS APLICADAS

Cánulas vasculares, por *Mark Fischetti*

94 LIBROS

Vísperas galileanas. Luz de velocidad variable.

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

ACTING 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
PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

PRESIDENT Steven Inchcoombe
MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL Kevin Hause
VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION Frances Newburg
VICE PRESIDENT, FINANCE AND GENERAL MANAGER 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.^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:

Carlos Lorenzo: *La extinción de los neandertales*; Ramón Pascual: *Aventuras en el espaciotiempo curvo*; J. Vilardell: *Residuos nucleares: ¿nuevas soluciones?*, *Hace...* e *Ideas aplicadas*; Juan Manuel González Mañas: *Causas de la enfermedad celíaca*; Ernesto Lozano Tellechea: *Dos mundos, una física*; Luis Bou: *Puesta al día y Apuntes*; Bruno Moreno: *Apuntes y Ciencia y sociedad*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*; Ramón Muñoz Tapia: *Taller y laboratorio*



Portada: Jean-Francois Podevin

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., 75 Varick Street, New York, NY 10013-1917.

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

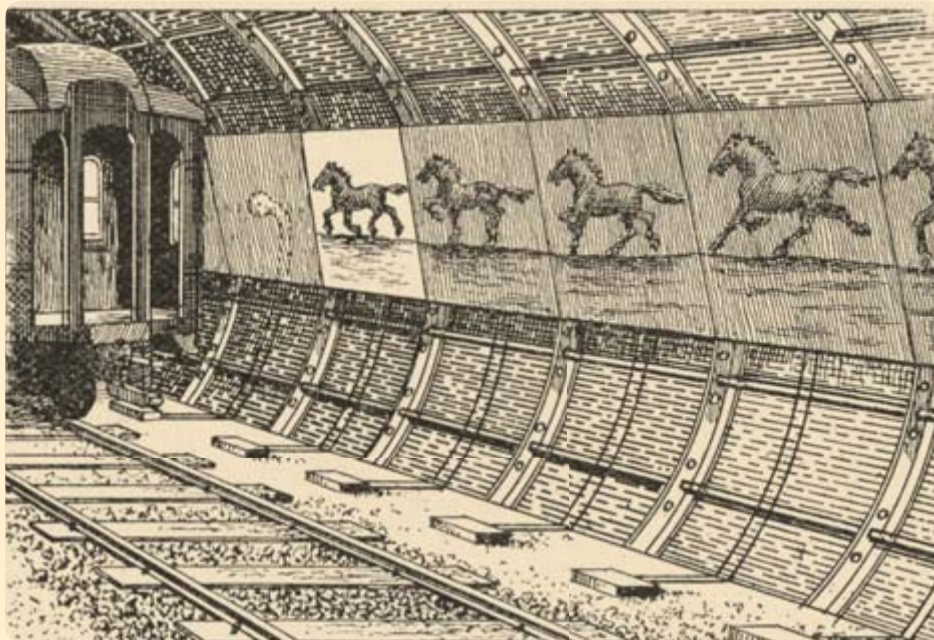
Recopilación de Daniel C. Schlenoff

...cincuenta años

El iniciador de los trasplantes de riñón. «Los injertos entre gemelos idénticos han demostrado que allá donde no hay barreras inmunitarias es posible trasplantar riñones con éxito para sanar enfermedades renales y vasculares incurables. Hemos trasplantado un riñón de un hombre sano a su hermano, enfermo de uremia grave. Aunque los hombres no eran gemelos idénticos, esperábamos que su parentesco pudiera favorecer cierta inmunocompatibilidad. El receptor recibió una dosis total de rayos X suficiente para ejercer un severo efecto depresivo en el tejido reticuloendotelial. Conforme el sistema reticuloendotelial del enfermo se recupere de la irradiación, quizá se vea obligado a familiarizarse con los antígenos y el riñón trasplantado. Es aún demasiado pronto para evaluar los resultados de este trasplante, pero en principio parece haber tenido éxito. —John P. Merrill»

...cien años

Electrocultivo. «El rápido crecimiento de las plantas en las regiones polares se ha venido atribuyendo a la ausencia de noche durante los tres meses de verano, pero urge abandonar tal explicación. El profesor Lemstroem, de la Universidad de Helsingfors, Finlandia, encuentra varias causas para creer que ese rápido crecimiento que se da en el Artico se halla en las corrientes eléctricas que fluyen entre la tierra y la atmósfera, y producen el fenómeno de las auroras boreales. Las puntiagudas hojas de las coníferas y las aristas de las espigas de cereales facilitan la transmisión de las corrientes a través de esas plantas; tal función ofrece una causa para la existencia de esas peculiaridades.»



UN DECORADO ARTIFICIAL alivia el aburrimiento del trayecto diario en metro al trabajo, 1909

Metro con espectáculo. «El cinematógrafo se consigue —es bien sabido— con un filme que se mueve de forma intermitente ante un proyector o linterna, que arroja sobre la pantalla imágenes sucesivas. El mismo efecto se conseguiría con unas figuras inmóviles y un público que se moviera de manera que viese las imágenes sucesivamente. Un ingenioso inventor ha dado con ese método para aliviar la monotonía de los viajes en el ferrocarril metropolitano subterráneo. Propone instalar una banda continua de figuras a cada costado del túnel, figuras que se iluminarían de modo secuencial mediante unas lámparas situadas tras ellas. La ilustración muestra el procedimiento para conseguir ese resultado.»

—El “Masstransiscope”, instalado en el metro de Nueva York en septiembre de 1980, hace uso del efecto zeotrópico. Hay vídeos disponibles en Google y YouTube.

...ciento cincuenta años

Los restos de Lord Franklin. «La expedición dotada hace dos años para buscar a sir John Franklin en las regiones árticas ha regresado con noticias completas y fidedignas acerca del triste destino de Franklin y sus compañeros. El capitán Robert McClintock halló el registro y los restos de Franklin en Victory Point. Parece que murió en junio de 1847, hace unos 11 años. Todos sus compañeros perecieron también en aquellas inhóspitas y desoladas regiones. Confiamos en que se dé fin a las expediciones a esas pavorosas soledades de hielo y nieve. El capitán McClure descubrió un paso en el noroeste, pero, ¿de qué sirve? Para la navegación resulta totalmente impracticable; la conclusión es que las vidas y el dinero consumidos en las expediciones al Artico han sido un perfecto derroche.»

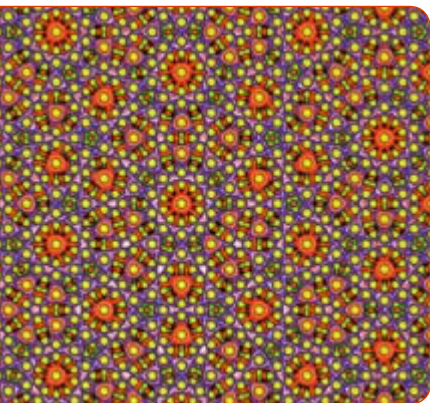
El poder de la prensa. «Sabemos por la historia antigua que varias naciones (egipcios, asirios, griegos y romanos) llevaron a cabo, en períodos sucesivos, grandes empresas y se convirtieron en grandes potencias. Durante su supremacía exhibieron una gran actividad intelectual y física, pero luego se tornaron indolentes y finalmente se degradaron; al dormirse en sus laureles, no tardaron en hundirse en la senilidad. Creemos que no deben albergarse temores a un final parecido en nuestra presente era de progreso. Ello lo evitará la prensa, el poderoso agente que mantiene en fermentación la mente pública e impide que se estanque.»

¿Qué ha sido de ...?

Recopilación de Philip Yam

Cuasicristales naturales

Los cuasicristales, unos preparados de laboratorio obtenidos en 1984, son sustancias insólitas, a medio camino entre lo cristalino y lo amorfo. Exhiben estructuras ordenadas y simétricas, aunque aperiódicas, pues no están definidas por una célula unitaria (un cubo, por ejemplo) que se repita indefinidamente en tres direcciones [véase "Cuasicristales", INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre, 1996].



1. Una estructura cuasicristalina no puede reducirse a la repetición indefinida de una unidad básica.

Tras años de indagación, Paul Steinhardt, de la Universidad de Princeton, y sus colaboradores creen haber descubierto el primer cuasicristal natural. Examinaron con tal propósito sustancias químicamente similares a cuasicristales ya obtenidos en el laboratorio. La rebusca les condujo hasta la khatyrkita, un mineral existente —se dice— en los Montes Koryak, en Rusia. Se trata de una aleación de aluminio. Una muestra con khatyrkita, procedente de Italia, contenía también gránulos similares de una aleación semejante que cumple los criterios de cuasicristal.

Subsisten, no obstante, ciertas dudas sobre el origen de la khatyrkita, por que las aleaciones

de aluminio no se forman fácilmente en procesos naturales. Steinhardt asegura que va a seguir estudiando los procesos que pudieron haber creado la muestra. "Como suele ocurrir en el caso de los minerales, resulta mucho más sencillo identificar y caracterizar el mineral que explicar su formación", comenta. El trabajo del equipo de Steinhardt apareció en *Science* del 5 de junio.

—John Matson

Memoria de muy larga duración

La conservación de información para las generaciones futuras ha suscitado cierta preocupación entre los archiveros digitales [véase "¿Son perdurables los documentos digitales?", INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo, 1995]. Por ejemplo, la duración de las tarjetas de memoria actuales, que almacenan entre 1,5 y 15 Gb por cm², se estima entre 10 y 30 años. Una solución al almacenamiento duradero podría llegar de un dispositivo experimental, basado en una nanopartícula de hierro que viaja entre dos contactos eléctricos por un nanotúbulo de carbono. Por aplicación de una tensión eléctrica, la partícula férrea puede ir o venir entre los contactos. El dispositivo, descrito en *Nano Letters* del 10 de junio, alberga 1,5 Tb por cm²; los cálculos teóricos indican que el sistema se mantendría termodinámicamente estable durante mil millones de años. No parece necesario ampliar la garantía.

Sólo con proteínas

Para inducir en las células adultas el retorno al estado pluripotente era necesaria, al principio, la inserción de cuatro genes, uno de los cuales cancerígeno. Se ideó después una forma de crear estas células madre sin insertar el gen dañi-

no. Ahora se ha logrado retrotraer al estado pluripotente células adultas de ratón utilizando sólo las proteínas codificadas por esos genes. Esta metodología, basada exclusiva-

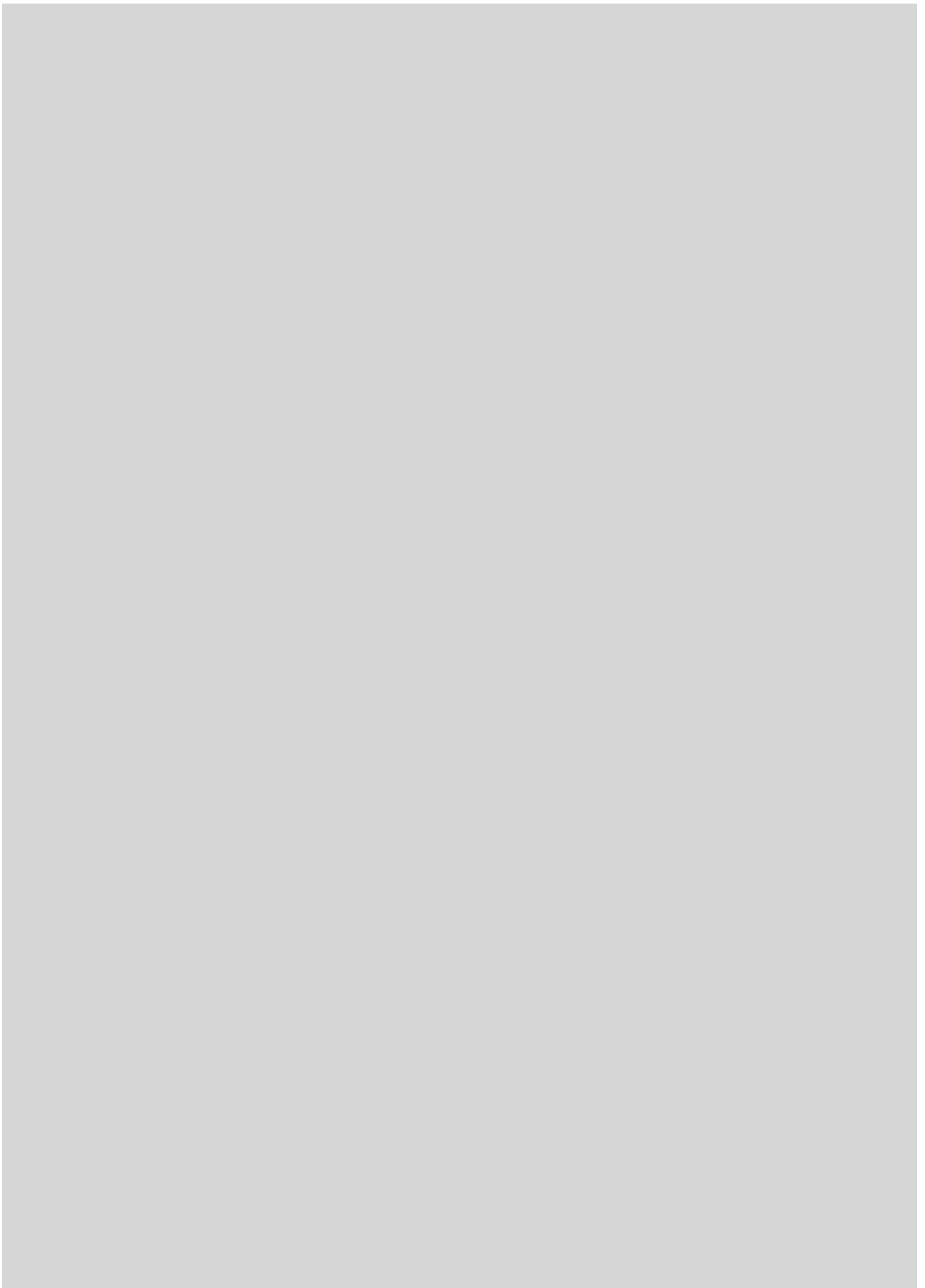
mente en proteínas, garantiza que el ADN foráneo no se integre de forma inesperada y modifique las células hospedadoras. Está expuesta en *Cell Stem Cell* del 8 de mayo.

Exploración de Marte

En Marte, los resultados de los dos años de exploración del cráter Victoria por la sonda *Opportunity* están aportando datos sobre el pasado húmedo del planeta [véase "Agua en Marte", INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero, 2007]. La sonda ha descubierto en Victoria pequeñas esferas de hematitas, una forma de óxido de hierro, que recuerdan a otras halladas a varios kilómetros de distancia. El descubrimiento lleva a pensar que las condiciones que dieron forma al terreno marciano operaron de forma regional, opinión que exponen los investigadores en *Science* del 22 de mayo. El próximo destino de *Opportunity* es el cráter Endeavour, a unos 14 kilómetros del Victoria. Entretanto, *Spirit*, el vehículo gemelo, quedó atrapado en mayo en suelos blandos y arenosos, al otro lado del planeta. *Spirit*, que tiene además una rueda rota, sigue atorado, sin que los científicos puedan idear la forma de ponerlo de nuevo en movimiento.



2. Un acantilado notable: Promontorio en el borde septentrional del cráter Victoria, fotografiado por la sonda *Opportunity* (colores irreales). En sus 12 metros de altura contiene pistas sobre el pasado húmedo de Marte.

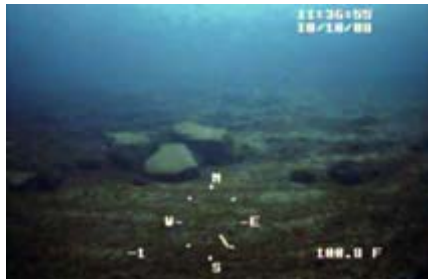


ARQUEOLOGIA

Caza de caribúes en el lago Huron

El fondo del lago Huron pudo ser, en su día, un territorio de caza de los indígenas de esa zona. El territorio delimitado por las actuales Presque Isle, Michigan, y Point Clark, Ontario, fue tierra firme hace entre 7500 y 10.000 años. Con el sonar y vehículos teledirigidos, se han encontrado huellas de lo que parecen ser estructuras de piedra, puestos de caza, viviendas y caminos de caribúes bajo los moluscos y las algas del lago. Este descubrimiento corrige ideas anteriores, que suponían que la mayoría de los yacimientos arqueológicos se destruyen tras un período tan largo bajo el agua. Podrían, pues, descubrirse hábitats antiguos y artefactos enteros en el fondo del lago.

—Katherine Harmon



FISICA

Vapor sin ebullición

La neblina que se ve por encima de un baño caliente y a la que se suele considerar "vapor" consiste, en realidad, en una serie de pequeñas gotas de agua líquida que se han formado a partir de la mezcla gaseosa de aire y vapor de agua que hay sobre la superficie del fluido. El vapor, que es un gas invisible, surge cuando las moléculas de agua, por la evaporación, escapan de un líquido. La evaporación es un proceso más lento que la ebullición, pero se acelera cuando el agua se va calentando (y adquiere así más energía).

Las condiciones en las que el vapor de agua se condensa y forma una neblina visible dependen de la temperatura ambiente y de la cantidad de vapor de agua en el aire. En comparación con el aire frío, el aire caliente puede contener mayor cantidad de vapor de agua antes de saturarse hasta producir la condensación. Esta propiedad explica por qué un baño caliente o una taza de té emiten más vapor visible en una fría mañana de invierno que en una cálida tarde de verano.

—Herman Merte
Universidad de Michigan en Ann Arbor

Erratum corrigir

En el artículo "Salvar las neuronas nuevas", publicado en el número de mayo de 2009, en el recuadro de la página 30, donde dice "hipotálamo" debería decir "hipocampo".



CAMBIO CLIMATICO

¿Descomponer el CO₂ en vez de secuestrarlo?

La descomposición del dióxido de carbono (CO₂) en carbono y oxígeno es factible, pero existe una dificultad: exige aportación de energía. Si tal energía procediera de hidrocarburos, que son los más importantes productores de gases "invernadero", la termodinámica nos dice que el resultado neto sería mayor abundancia de CO₂ que la inicial.

Consideremos la propuesta como una reacción química: CO₂ más energía produce carbono y oxígeno. En esencia, esta fórmula corresponde a la inversión de la

combustión del carbón (carbono + oxígeno = CO₂ más energía). Si la energía procedente del carbón se aplicase a la reacción de descomposición, se liberaría más CO₂ del que se consumiría, porque ningún proceso tiene una eficiencia perfecta.

Otra opción consistiría en recurrir a una fuente de energía sin carbono para inducir una reacción que no solamente invirtiese el proceso de combustión, sino que utilizase además el dióxido de carbono como ingrediente para generar productos útiles, energéticamente ricos. En los Laboratorios

Nacionales Sandia se está trabajando en la aplicación de luz solar concentrada para inducir descomposiciones térmicas a elevada temperatura, que producen monóxido de carbono, hidrógeno y oxígeno a partir de CO₂ y agua. El monóxido de carbono y el hidrógeno constituyen piezas químicas básicas, útiles en la producción de combustibles sintéticos. Llamamos a este proceso "de sol a petróleo".

—James E. Miller, ingeniero químico.
Laboratorios Nacionales Sandia

ZOOLOGIA

¿Por qué no se congelan los mamíferos marinos?

Los mamíferos marinos mantienen una temperatura interna elevada en aguas muy frías merced a reacciones conductuales y fisiológicas. Un comportamiento típico es la emigración. Al llegar el invierno, las ballenas francas preñadas emigran desde las aguas de Canadá y Nueva Inglaterra hacia las aguas costeras, más cálidas, de Georgia y Florida, para parir. Por su parte, las adaptaciones fisiológicas incluyen un gran tamaño corporal, como el de la mayoría de los mamíferos marinos, que supone una proporción bastante baja entre la superficie corporal y su volumen (ya que, a medida que aumenta el tamaño de un objeto tridimensional, su volumen aumenta más rápidamente que su superficie). Así pues, su superficie corporal, a través de la cual se produce el intercambio de calor con el entorno, es reducida en comparación con su gran volumen de tejidos corporales, que son los que generan calor. De esta forma, los grandes mamíferos pueden conservar el calor con eficacia mayor.

Los mamíferos marinos disponen también de excelentes aislantes en forma de cuero, grasa o ambos. La nutria marina tiene el pelo más denso de todos los mamíferos conocidos: 130.000 pelos por centímetro cuadrado, según un estudio. La piel aísla de forma más eficaz cuando está seca, porque atrapa el aire, un aislante excelente, en su interior. En cambio, el agua conduce mejor el calor y elimina el calor corporal veinticinco veces más deprisa que el aire a la misma temperatura. La piel de la nutria es tan densa,

que puede atrapar una capa de aire incluso cuando el animal está sumergido.

Los mamíferos que pasan la totalidad o la mayor parte de su vida en el agua disponen de una capa de un tipo especial de grasa, más proteínas como el colágeno y la elastina. Consiguen así, entre otras cosas, aislarse del exterior y almacenar energía, de forma similar a los seres humanos. La cantidad de grasa varía de una especie a otra. Las crías de marsopa común son las que más grasa tienen: aproximadamente el 43 por ciento de su masa corporal es grasa.

En algunas circunstancias, los mamíferos marinos desnutridos o con mala salud podrían encontrar dificultades en mantener una cantidad saludable de grasa, tanto en términos de cantidad como de calidad. Podrían llegar a morir de frío, debido a las bajas temperaturas. Por otra parte, si se alejan de su hábitat natural, podrían sucumbir, expuestos a unas condiciones ambientales a las que no están adaptados.

La piel de los mamíferos marinos está repleta de células nerviosas sensibles a la temperatura, igual que la piel de cualquier otro mamífero. Estas criaturas tan especializadas gozan de la capacidad de percibir la temperatura y responden a los estímulos de calor o frío; ahora bien, resulta una cuestión espinosa traducir eso a lo que sienten si experimentan o no incomodidad.

—Ann Pabst

Universidad de Carolina del Norte en Wilmington



BIOLOGIA

Bacterias de la piel

La piel alberga muchas bacterias. Más de las que se venía admitiendo. Los investigadores del nuevo Proyecto Microbioma Humano, de los Institutos Nacionales de Salud, secuenciaron los genes de muestras de piel de voluntarios sanos y encontraron bacterias de 19 filos diferentes y de 205 géneros, con más de 112.000 secuencias genéticas. Los estudios anteriores de cultivos en la piel suponían que un solo tipo de bacteria, el *Staphylococcus*, era el residente principal. Se quiere establecer el nivel normal de presencia bacteriana para tratar así mejor las enfermedades de la piel, como el acné o los eccemas, que pueden implicar un desequilibrio en las poblaciones de bacterias.

—Katherine Harmon



FLUIDOS

Líquido que fluye hacia arriba

Un grupo de investigadores de la Universidad de Rochester ha ideado una forma de hacer que un líquido a temperatura ambiente fluya en contra de la gravedad. Grabaron con un láser muy intenso pequeños canales en una placa metálica. Mediante la evaporación y la capilaridad se consiguió que el metanol subiera por los canales a una velocidad sin precedentes, aun cuando la placa se colocara en posición vertical. Dicho transporte pasivo de fluidos podría aprovecharse en dispositivos de microfluído, que dependen del movimiento de diminutas cantidades de líquido.

—John Matson

La silenciosa pandemia de las abejas

De cómo se descubrió la causa de una enfermedad silenciosa que ha causado el despoblamiento de millares de colmenas

Era el año 2004. El laboratorio de patología apícola del Centro Agrario de Marchamalo (Guadalajara) estaba colapsado por miles de cajas de cartón, llenas de abejas enfermas y moribundas, remitidas por apicultores de toda España. Las muestras esperaban su estudio para averiguar la causa de un extraño proceso, en el que las abejas desaparecían. Un cuadro clínico nuevo para apicultores y veterinarios, que estaba ocasionando grandes pérdidas económicas. A los ojos de ambos, las colmenas son animales de producción (como las vacas y las ovejas), puesto que generan productos para el consumo humano; asimismo, son benefactoras para los ecosistemas al polinizar plantas, silvestres y cultivadas.

A esa patología se la denominó en 2005 “desabejamiento de las colmenas”, expresión sustituida luego por el actual “síndrome del despoblamiento de las colmenas” (SDC) en España y Europa, o “Colony Collapse Disorder” (CCD) en EE.UU. [véase “Salvar la abeja melífera”, por Diana Cox-Foster y Dennis vanEngelsdorp; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, ju-

nio de 2009]. Las abejas desaparecen y la colmena muere sin presentar una sintomatología que permita intuir el origen del problema.

Primavera sin abejas melíferas

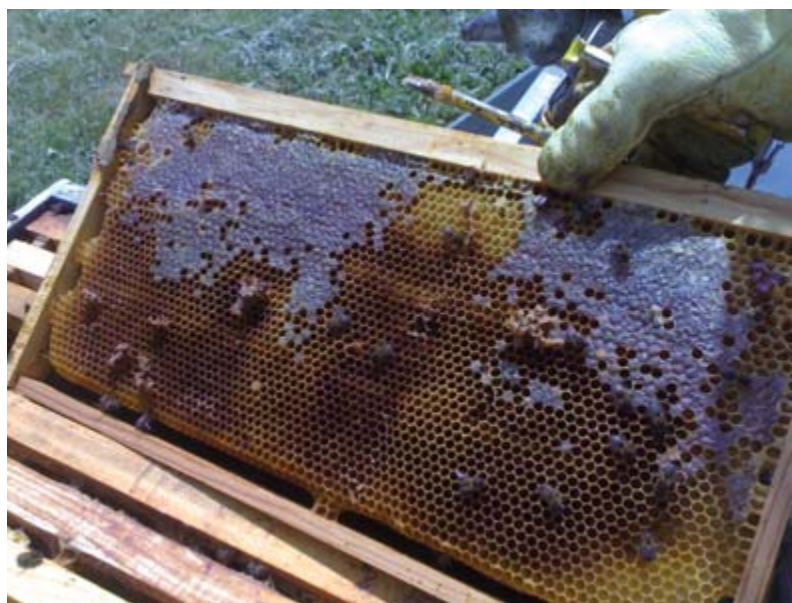
En invierno es cuando se observan las mayores pérdidas. Ello coincide con el momento en que los apicultores se disponen a preparar su “ganado” para la recolección de primavera. El campo está henchido de néctar y polen, pero no hay suficientes abejas para trabajar. La desesperación del apicultor se exagera cuando ve que sus colmenas no despiertan y que no se multiplica el número de abejas para recolectar. Aun cuando la abeja reina haya sobrevivido, ya no hay tiempo ni suficientes abejas trabajadoras para el momento de la floración. Se pierde la cosecha de ese año y la polinización debe ser asumida por otras especies. Las colmenas, que no consiguen reponer las abejas que mueren en el campo, se acaban despoblando y mueren.

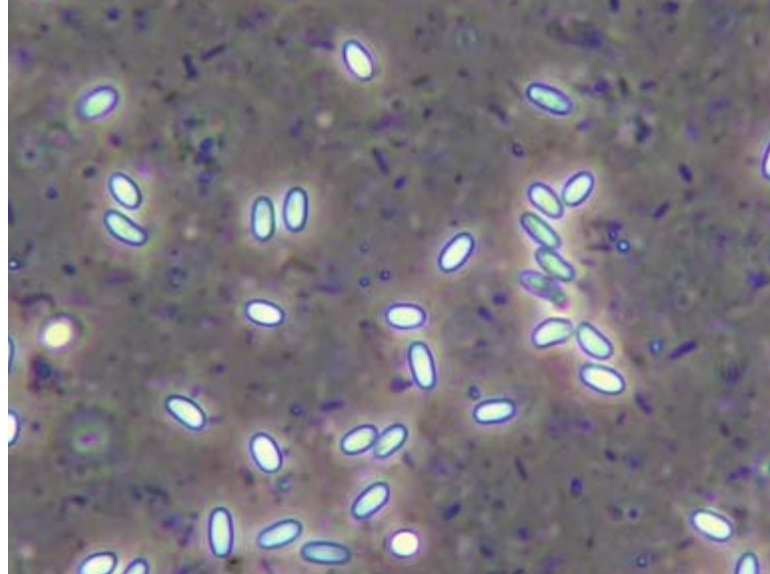
En esta situación nos encontrábamos ya en 2000, cuando algunos apicultores y veterinarios consultaban al Cen-

tro Apícola por casos de debilitamiento o de elevada e inexplicable mortalidad de colmenares completos, en apariencia sanos. Como en toda ganadería, en la apicultura mueren cada año, por causas diversas, cierto número de animales o colmenas. Sin embargo, nada hacía pronosticar lo que ocurriría los años siguientes.

Iniciado el nuevo milenio, llegaban desde Francia noticias que responsabilizaban del desastre a los laboratorios que comercializaban insecticidas (fipronil e imidacloprida) para el tratamiento de semillas de maíz o girasol. Esta hipótesis ya se había descartado en España como causa principal de la pandemia, pues sólo uno de esos productos estaba permitido en nuestro país; se utilizó en el 8 por ciento de las semillas de girasol plantadas entre 2004 y 2009 en Cuenca, Córdoba y Sevilla. Análisis de esos compuestos (sobre todo neonicotinoides) en abejas pecoreadoras y polen de dichas zonas, realizados por el grupo de José Luis Bernal, de la Universidad de Valladolid, habían arrojado resultados negativos. Sin embargo, en Francia continuaban las batallas legales para encontrar un culpable químico de la pérdida de miles de colmenas.

1. Una colmena sana (izquierda) alberga millares de abejas. Pero si sufre el síndrome del despoblamiento (derecha), acaba perdiéndolas y muere.





2. Las abejas presentaban millones de esporas de *Nosema*, pero ni rastro de “diarrea” (signo clínico asociado a la infección por *N. apis*); la imagen muestra un intestino sano (a) y uno infectado (b) por *N. apis*. Las esporas resultaron ser de *N. ceranae*, otro parásito fúngico que también invade el intestino y causa la muerte de abejas adultas fuera de la colmena (derecha).

Nosema apis, el primer sospechoso

En España aumentaban las denuncias y continuaba la remisión de muestras. Presentaban un aspecto desconcertante: muchas esporas de *Nosema*, pero ni rastro de diarrea (síntoma patognomónico de la nosemosis debida a *N. apis*). Aquello no era normal. Con la colaboración de Amparo Martínez, de Tragsega, empresa dedicada a la sanidad ganadera y animal, se realizó un estudio epidemiológico de los miles de muestras enviadas a Marchamalo.

Los resultados confirmaron las observaciones iniciales. Las esporas de *Nosema apis* (parásito fúngico unicelular que invade el tracto intestinal y causa disentería apiar) parecían tener alguna relación —al menos estadística— con la desaparición de las abejas. Cuando en las muestras se observaban esporas de *Nosema*, se multiplicaba por seis la posibilidad de un despoblamiento de la colmena. Ahora bien, había hasta un 10 por ciento de las colmenas despobladas que no contenían esporas del parásito.

Era evidente que el diagnóstico de una enfermedad y la detección de un agente potencialmente patógeno no eran lo mismo. En ningún momento se habían observado signos de nosemosis, bien conocidos por veterinarios y apicultores: heces (“diarrea”) de abejas en el interior de la colmena y abejas débiles que no pueden volar o con el abdomen dilatado por las heces, entre otros. En Francia, los expertos comenzaron a denominarla “nosemosis seca” por la ausencia de diarrea. Se sugirió una posible adap-

tación del agente o una mutación que causara un cuadro clínico nuevo, menos agudo y más crónico.

Nosema ceranae, el auténtico culpable

Los primeros intentos por conocer las características moleculares del parásito sospechoso resultaron infructuosos: las muestras no contenían ADN de *Nosema apis*. Tras un cambio metodológico, se resolvió el misterio. El material genético no correspondía a *N. apis*, ni a una cepa mutante con la capacidad patogénica modificada. Se trataba de otro parásito muy semejante: *Nosema ceranae*, descrito sólo en la abeja asiática. Casi de forma simultánea, investigadores de Taiwán lo detectaron también en la abeja europea de su país.

Nos hallábamos ante un panorama inesperado: de los once apiarios incluidos en el estudio inicial, diez estaban infectados por un parásito transfronterizo. El fenómeno evocaba una situación semejante a la que se enfrentó nuestra apicultura en 1985, cuando entró en España uno de los principales patógenos de las abejas: el ácaro *Varroa*, procedente también del sudeste asiático. Desaparecieron el 40 por ciento de las colmenas. Casi veinte años después, otro parásito asiático estaba implicado en un proceso similar.

Comenzó así una carrera a contrarreloj: infecciones experimentales para comprobar que la detección de ADN se correspondía con un patógeno nuevo, seguimiento en campo de infeccio-

nes naturales para describir el curso de la enfermedad, demostración de los postulados de Koch sobre la capacidad de transmisión del agente entre hospedadores, estudio de posibles formas de contagio entre colmenares y de factores implicados en la patología observada, aplicación de nuevos métodos diagnósticos y seguimiento de la difusión de la enfermedad en España. Asimismo, se contactó con científicos de otros países que corroboraron nuestras observaciones y se desarrollaron estrategias para evitar las inmensas pérdidas que estaban sufriendo los apicultores. Todo ello con la colaboración de Pilar García Palencia, de la Universidad Complutense de Madrid, y la ayuda de Lourdes Prieto, experta en diagnóstico molecular de la Policía Científica.

El trabajo emprendido culminó en la demostración en colmenares profesionales de que *N. ceranae* era el único patógeno responsable de la muerte de decenas de colmenas. Empezó a detectarse en numerosos países. Ya no era sólo un parásito de abejas europeas criadas en Taiwán o en España. En cuanto se buscaba, aparecía, pero nadie se había percatado de la invasión silenciosa.

Un problema complejo

Los países que importan colmenas (Canadá, por ejemplo) y los que, además, desplazan grandes cantidades de ellas para polinizar su territorio (EE.UU.) denunciaban ya en el siglo pasado la presencia, en lugares muy distantes, de *N. ceranae*. Pero no lo relacionaban con el SDC. Pocos veterinarios participaron en esos estudios, que se centraron más en el insecto (abeja) que en el animal de producción (colmena). Es posible que la dualidad abeja-colmena haya dificultado la descripción del cuadro clínico de la enfer-

