

# INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición española de  
SCIENTIFIC  
AMERICAN



## MATEMATICAS

El experimento de Fermi, Pasta y Ulam

## GENETICA

Mutaciones silenciosas ¿Son realmente inocuas?

## FISICA

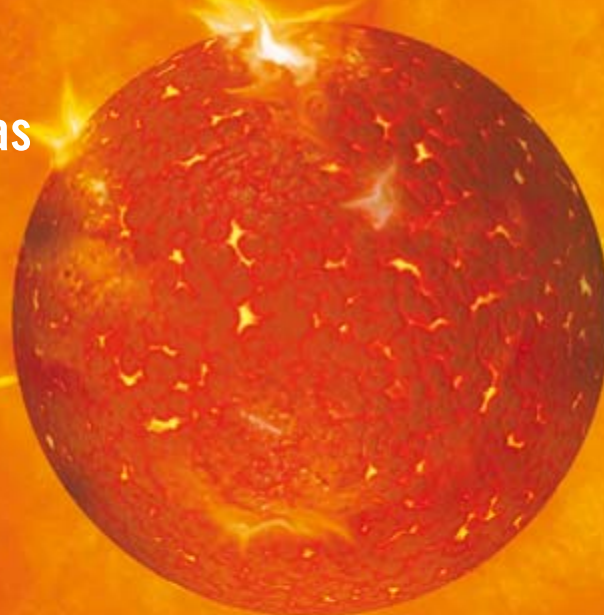
Láseres de largo recorrido

## EVOLUCION

¿Dónde y cuándo se domesticó el gato?

# PLANETAS EXOTICOS

Sistemas planetarios alrededor de estrellas muertas y enanas marrones



9 770210 136004

# SUMARIO

Agosto de 2009/Número 395



28

Aunque no alteran la composición de las proteínas, las mutaciones "silenciosas" pueden resultar dañinas.

22

La recolección de las cosechas rompe el ciclo natural al detraer fósforo de la tierra.



40

Interacciones entre el medio y el genoma de las abejas.

## ARTICULOS

### ASTRONOMIA

#### 14 Planetas ectópicos

Michael W. Werner y Michael A. Jura

Los astrónomos encuentran planetas donde, en teoría, no deberían estar.

### SOSTENIBILIDAD

#### 22 La crisis del fósforo

David A. Vaccari

Este recurso subestimado, componente fundamental de los abonos, durará todavía varios decenios. Pero si queremos evitar el desplome de la agricultura, debemos acometer de inmediato su conservación.

### GENETICA

#### 28 Mutaciones silenciosas

J. V. Chamary y Laurence D. Hurst

Se producen cambios sutiles en las secuencias de ADN, antaño reputados irrelevantes para la codificación proteínica, que adquieren importancia determinante en la enfermedad y en la evolución.

### BIOLOGIA

#### 40 La regulación génica del comportamiento social de las abejas

Mireia Jordà y Miguel A. Peinado

El medio afecta al grado en que se expresen los genes. Las influencias del exterior se reflejan en mecanismos epigenéticos.

### ARQUEOLOGIA

#### 44 El sino de Ugarit

Joachim Bretschneider y Klaus-Dieter Linsmeier

Un eclipse de Sol no prometía nada bueno al reino de Ugarit, amenazado por los belicosos "pueblos del mar".

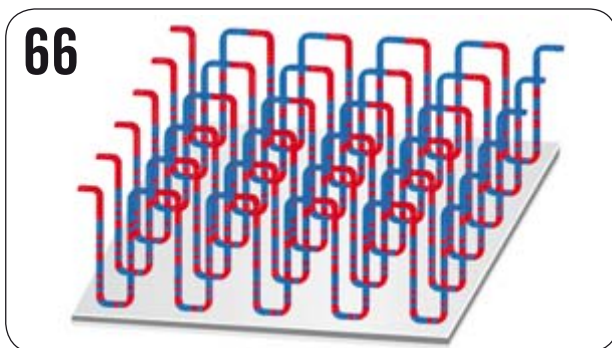
### EVOLUCION

#### 50 La domesticación del gato

Carlos A. Driscoll, Juliet Clutton-Brock, Andrew C. Kitchener y Stephen J. O'Brien

La genética y la arqueología nos revelan que los gatos monteses se convirtieron en domésticos antes, y en un lugar distinto, de lo que se creía.

No sólo hay planetas alrededor de estrellas como el Sol.



Una nueva forma de almacenar datos.

## FISICA

### 58 Láseres ultralargos

*Juan Diego Ania Castañón*

Láseres de fibra óptica de gran longitud pueden transmitir información óptica sin que sufra pérdidas en su interior.

## INFORMATICA

### 66 Memorias racetrack

*Stuart S. P. Parkin*

Un dispositivo en el que los bits se desplazan a lo largo de nanohilos podría empaquetar datos en un microchip tridimensional. Tal vez sustituya a las técnicas habituales de almacenamiento de datos.

## MATEMATICAS

### 72 Fermi, Pasta, Ulam y el nacimiento de la matemática experimental

*Mason A. Porter, Norman J. Zabusky, Bambi Hu y David K. Campbell*

Hace 54 años, Enrico Fermi, John Pasta y Stanislaw Ulam informaron de un experimento numérico que todavía hoy sigue alentando nuevos descubrimientos.



La cuarta parte de nuestros alumnos de quince años tienen un nivel de competencia lectora igual o inferior al mínimo establecido.

## EDUCACION

### 82 La educación secundaria en España

*Francisco López Rupérez*

La información empírica disponible permite identificar el estado de la educación secundaria en España, desde una perspectiva internacional comparada, y avanzar propuestas para su mejora.

## SECCIONES

### 3 HACE...

50, 100 y 150 años.

### 4 PUESTA AL DIA

### 6 APUNTES

### 8 CIENCIA Y SOCIEDAD

### 37 DESARROLLO SOSTENIBLE

Repensar la oferta monetaria mundial, por *Jeffrey D. Sachs*

### 38 IDEAS APLICADAS

Refinerías de petróleo, por *Mark Fischetti*

### 84 CURIOSIDADES DE LA FISICA

Café turco centrifugado, por *J.-M. Courty y É. Kierlik*

### 92 JUEGOS MATEMATICOS

Los prisioneros y María, por *Agustín Rayo*

### 94 LIBROS

# INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.<sup>a</sup> Valderas Gallardo  
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella  
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez

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

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.<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:

M.<sup>a</sup> Rosa Zapatero Osorio: *Planetas ectópicos*; Juan Manuel González Mañas: *Mutaciones silenciosas*; I. Nadal: *El sino de Ugarit*; Joandomènec Ros: *La domesticación del gato*; Luis Bou: *Memorias racetrack, Fermi, Pasta, Ulam y el nacimiento de la matemática experimental y Apuntes*; Bruno Moreno: *Apuntes y Ciencia y sociedad*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*; J. Vilardell: *Hace..., Ideas aplicadas y Curiosidades de la física*



Portada: Phil Saunders de Space Channel Ltd.

## 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 © 2009 Scientific American Inc., 75 Varick Street, New York, NY 10013-1917.

Copyright © 2009 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

**Olas.** «Al hombre le agradecería descubrir los caminos de las olas sin más que observarlas, pero no le resulta posible, porque las olas disparan su ensueño. Trate alguna vez de contar cien olas y lo verá. Las preguntas que formulan los observadores del oleaje se están respondiendo mediante estudios intensos sobre el mar y el examen de las olas e grandes estanques experimentales. Los nuevos conocimientos han posibilitado la medición de la energía y los efectos de las olas para beneficio de quienes trabajan en el mar y en los litorales. En el enorme estanque del Instituto Stevens de Técnica de Hoboken, Nueva Jersey, unas olas artificiales remedan por su irregularidad y su variabilidad las olas de alta mar. En la fotografía, la maqueta de barco se mueve por sus propios medios; el instrumento instalado encima de ésta registra sus movimientos.»

## ...cien años

**Visitante celeste.** «El acercamiento del cometa Halley constituye el acontecimiento astronómico más importante de los años 1909 y 1910. Cada setenta y cinco o setenta y seis años, este sorprendente cuerpo completa una de sus muy excéntricas y elípticas órbitas alrededor del Sol. Fue visto por última vez en mayo de 1836 por el Observatorio Cape, pero aunque se desvaneció de la vista de los hombres, su ruta de avance por el espacio se conocía con la exquisita precisión con la que los marineros conocen el rumbo de un barco en un mar inexplorado. No es poca la emulación presente entre los observatorios dotados de telescopios de gran tamaño, para ver cuál de ellos será el primero en captar, a tan lejanas costas, el retorno de nuestro viajero.»

**Proto-televisión.** «El señor Ernst Ruhmer, de Berlín, famoso por sus inventos en el campo de la telefonía y telegrafía sin hilos, ha logrado perfeccionar el que probablemente sea el primer aparato de pruebas del que pueda decirse que ha resuelto el problema de la tele-visión. Este redactor ha tenido la oportunidad de inspeccionar esa curiosa máquina inmediatamente antes de que fuese enviada a Bruselas, para ser expuesta ante los promotores de la Exposición Universal del año que viene. De hecho, un aparato de tele-visión completo y definitivo, que cuesta la friolera de un millón y cuarto de dólares, será sin duda la gran atracción de esta exposición.»

**El triunfo de Blériot.** «El espectacular vuelo de Louis Blériot de un lado al otro del Canal de la Mancha supone un hito en la historia del progreso que no debería caer en el olvido. No habrá nadie, desde luego, tan injusto que menosprecie esta hazaña comparándola con vuelos anteriores y de recorrido más largo. En punto a

riesgo y audacia, ese osado y madrugador *sprint* sobre el Canal define por sí mismo toda una categoría. El hecho de que la primera máquina voladora que haya cruzado el Canal fuera un modelo monoplaneo ha elevado el prestigio de ese tipo de aparatos.»

## ...ciento cincuenta años

**Tumbas de oro.** «Los aborígenes de América Central, que la ocupaban cuando fue descubierta por los blancos del Este, acostumbraban a enterrar rodeados de oro a sus muertos. Nos llegan noticias de nuevos descubrimientos en David, Chiriquí (Panamá). Hay ahora una gran emigración hacia esas nuevas excavaciones arqueológicas; los informes hablan de oro en profusión. Pero nos inclinamos a creer que, tras haber sido el país profundamente saqueado en el siglo dieciséis, no puede haber tanto como los rumores nos hacen creer. Son figuras fundidas y pulidas, que muestran un sutil ingenio en el modelado. Las gentes que crearon tales objetos debían poseer un alto grado de civilización. El estudio de las antigüedades americanas progresará sin duda gracias al descubrimiento de tan extraordinarias figuras; somos de la opinión de que deben preservarse y no arrojarse al crisol del refinador como si fueran pepitas de oro en bruto o polvo herrumbroso.»



MAQUETA DE UN BARCO, de un metro y medio de longitud, ensayada en un tanque de olas, 1959.

¿Qué ha sido de ...?

Recopilación de Philip Yam

## Células de combustible

La progresión hacia los vehículos propulsados por hidrógeno depende de que se logren sistemas de células de combustible que conjuguen menor coste y mayor capacidad [véase "Automoción por pilas de combustible"; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, mayo de 2005]. Mucho se ha avanzado en ambos problemas. Un equipo de Quebec ha presentado una fórmula que utiliza hierro, en lugar del carísimo platino, para catalizar la reacción electrogénica del hidrógeno y el oxígeno.

La clave reside en unas estructuras de carbono que contienen poros microscópicos, rellenos de hierro para crear una gran cantidad de puntos de actividad química. La sustancia, de base férrica, descrita en *Science* del 3 de abril, produjo una acti-



### 1. CAMBIO DE ENERGÍA MOTRIZ. Nuevos materiales pueden hacer más factible la propulsión por hidrógeno de los automóviles.

vidad catalítica que rondaba el 10 por ciento de las mejores versiones con platino, y era 35 veces mayor que la de catalizadores anteriores no basados en metales preciosos.

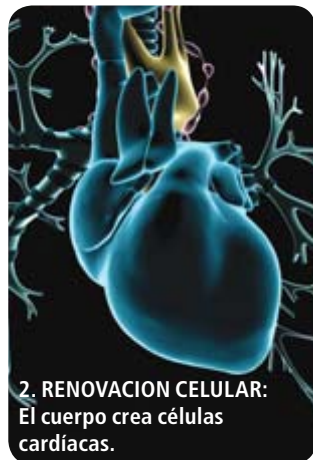
La búsqueda de materiales que puedan almacenar hidrógeno para proporcionárselo a células de combustible se está orientando asimismo hacia los poros. Un equipo de la Universidad de Michigan en Ann Arbor afirma haber creado un material dotado de una superficie excepcionalmente adecuada para la adsorción de gases. Esta "esponja de hidrógeno" consiste en

apiñamientos de óxido de cinc unidos por un material orgánico; un gramo ofrece una superficie de adsorción de unos 5000 metros cuadrados, casi un campo de fútbol. Se pueden ver detalles de esta sustancia, denominada UMCM-2, en *Journal of the American Chemical Society* del primero de abril.

## Células cardíacas de la era atómica

En los años cincuenta del siglo pasado, los ensayos nucleares en la atmósfera dispersaron por todo el mundo carbono 14 radiactivo y otros isótopos. Las plantas los absorbieron, los animales devoraron las plantas y los humanos, a unos y a otras, creando sin proponérselo una oportunidad experimental para Jonas Frisén y sus colaboradores del Instituto Carolinska de Estocolmo.

Los investigadores suecos han utilizado la desintegración del carbono 14 de la era atómica como marcador biológico con el fin de determinar la frecuencia de renovación de las células de nuestro organismo. Con esos datos han resuelto un viejo problema: han demostrado que el corazón humano produce células cardíacas nuevas. La tasa anual de renovación es del 1 por ciento a la edad de 25 años y decrece hasta el 0,45 por ciento a



2. RENOVACION CELULAR: El cuerpo crea células cardíacas.

## Avisos a la velocidad del rayo

Las tormentas podrían volverse más intensas con el calentamiento global [véase "Océanos más cálidos y huracanes más fuertes"; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2007]. En un estudio de 57 huracanes se ha observado que el aumento del aparato eléctrico tendía a preceder en un día a los vientos más fuertes. Durante la vigilancia del huracán Dennis, de 2005, se registró una intensificación de los relámpagos (de 600 al día a 1500), casi 24 horas antes de que se duplicase la velocidad del viento, que llegó a los 240 km/h.

Será necesario recoger más datos antes de que esa correlación, comunicada en línea en *Nature Geoscience* del 6 de abril, pueda considerarse un predictor de la intensidad de una tormenta.



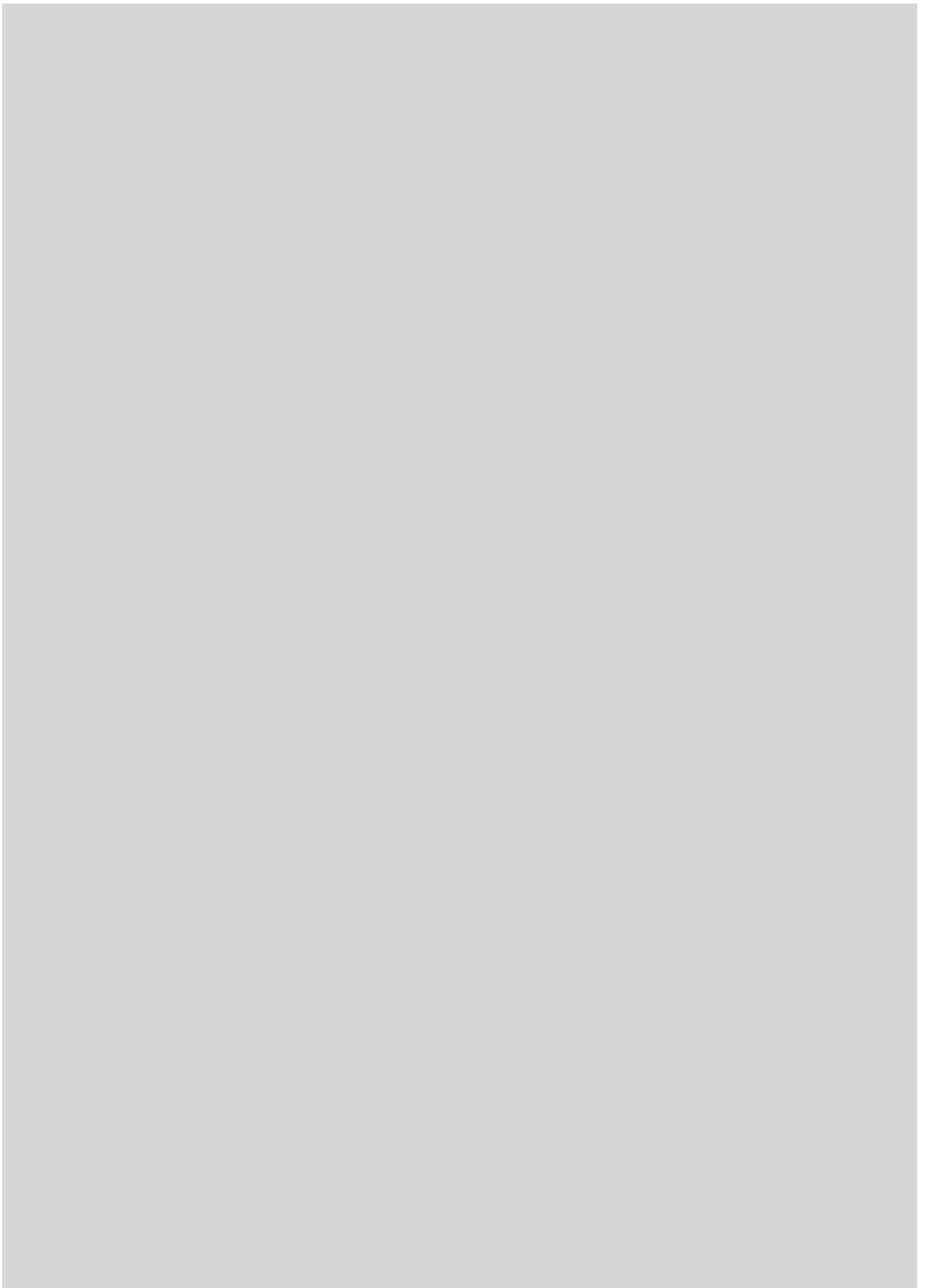
los 75; en total, a los 70 años han sido reemplazados alrededor del 40 por ciento de los cardiomiocitos. Este descubrimiento, publicado en *Science* del 3 de abril, lleva a pensar que las lesiones cardíacas podrían repararse mediante la estimulación de los mecanismos de renovación.

## No tan salvadora

Se ha venido dudando, desde hace bastantes años, del valor de los análisis de sangre para la detección del cáncer de próstata, la llamada prueba PSA [véase "Pruebas para la detección precoz del cáncer de próstata"; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 1996]. Después de todo, el progreso de la mayoría de los cánceres de próstata es lento, y en ocasiones nunca llegan a plantear problemas, mientras que los tratamientos podrían

provocar impotencia e incontinencia urinaria. Los primeros resultados de estudios de gran amplitud todavía en curso, realizados en EE.UU. y Europa, publicados en *New England Journal of Medicine* del 26 de marzo, parecen indicar que la prueba PSA no contribuye a salvar muchas vidas.

En el estudio estadounidense no se ha observado reducción de la mortalidad resultante de los exámenes de próstata en un colectivo objeto de seguimiento durante 11 años. En el europeo, cuyos protocolos eran distintos, sí se apreció un descenso del 20 por ciento en la mortalidad, que se traduce en 7 fallecimientos menos por cada 10.000 sujetos examinados y observados durante 9 años. Habrá que esperar a trabajos posteriores para esclarecer algunas de las diferencias entre ambos estudios.



## FISIOLOGIA

### Albinismo

El albinismo constituye una enfermedad genética responsable de la pérdida parcial o completa de pigmentación, es decir, del color de la piel, los ojos o el pelo. Está causada por mutaciones que afectan a los melanocitos, las células productoras del pigmento melanina que da color a esas partes del cuerpo. En los individuos con albinismo, ciertas alteraciones genéticas impiden en los melanocitos la síntesis de pigmento o dificultan su distribución hasta los queratinocitos, el principal tipo de células de la epidermis.

Las formas habituales de albinismo corresponden a las variantes oculocutáneas de tipo 1 (OCA1) y de tipo 2 (OCA2). Quienes sufren de OCA1 experimentan mutaciones en el gen *TYR*, responsable de la producción de tirosinasa, enzima utilizada por las células para convertir la tirosina, un aminoácido, en pigmento. OCA2, que es la variante más frecuente en África, resulta de una mutación del gen *OCA2* que codifica la proteína P, una proteína cuyo papel no acaba de descifrarse. Es probable que esta mutación sea la más antigua entre las causantes de albinismo; según se cree, se originó durante el desarrollo de la humanidad en África.

Casi todos los albinos con OCA1 tienen la piel blanca, el pelo blanco y ojos sin pigmentación. El iris, la región circular y coloreada que circunda a la pupila, se ve descolorido, y la pupila, roja. Esta rojez se debe al reflejo de la luz en los vasos sanguíneos de la retina, revestimiento sensible a la luz que recubre por su interior el fondo del globo ocular. Normalmente las pupilas se ven negras porque los pigmentos moleculares de la retina absorben la luz e impiden que se refleje y salga al exterior. Quienes tienen OCA2 pueden producir una pequeña cantidad de pigmento y, por ello, presentar síntomas oculares menos pronunciados.



COPITO DE NIEVE, gorila albino.

Los individuos que sufren albinismo reciben a menudo la consideración de legalmente ciegos. Al carecer de melanina durante el estadio embrionario, los tractos neuronales que llevan desde el ojo hasta la corteza visual del cerebro se desarrollan de forma aberrante, lo cual provoca una percepción deficiente de la profundidad. Y los fotorreceptores de la retina, al carecer el ojo de pigmento, pueden resultar sobreestimulados y enviar al cerebro mensajes que le confundan; con frecuencia producen también nistagmus, un tipo de movimiento involuntario de los ojos.

La carencia de pigmentación epidérmica aumenta la susceptibilidad a cánceres de piel no melanomas, como los carcinomas de células escamosas o los de células basales. Los melanocitos de funcionamiento normal suministran, a los queratinocitos, pigmentos que protegen a los núcleos celulares (y al ADN que alberga) de las radiaciones ultravioleta del Sol. Las personas con albinismo pueden también experimentar un envejecimiento prematuro de la piel, porque la melanina, al bloquear los rayos UV, contribuye a impedir las arrugas y la pérdida de elasticidad de la piel.

Richard King, de la Universidad de Minnesota, Vitali Alexeev, de la Universidad Thomas Jefferson, y otros están trabajando en terapias génicas y en fármacos que corrijan las mutaciones responsables del albinismo. Se han logrado ciertos éxitos en la corrección de parcelas de piel y pelo despigmentado en ratones, pero falta un largo trecho para que estas investigaciones puedan trasladarse a los seres humanos.

—Raymond Boissy, profesor de dermatología, facultad de medicina de la Universidad de Cincinnati

## ARQUEOLOGIA

### Los primeros caballos domesticados

La domesticación de los caballos cambió el curso de la Historia. El punto de partida parece remontarse al menos 5500 años en el pasado, hasta los botai, una tribu que vivía en lo que ahora es el norte de Kazajistán. Se han encontrado restos de leche de yegua en nueve antiguos recipientes de barro para cocinar de esa zona, así como huellas de daños en quince mandíbulas de caballo causados por frenos o bridas, lo cual sugiere que los botai tenían caballerizas. Estos hallazgos se describen en *Science*.

—David Biello

**LOS INDICIOS DE LECHE DE YEGUA en vasijas kazajas de hace 5500 años apuntan a que para entonces ya estaban domesticados los caballos.**



CESAR RANGEL/AFP/Getty Images; (Copito de nieve) ALAN K. OUTRAM/AP Photo (caballo)



## PALEOANTROPOLOGIA

### Un mismo estilo de vida

Los datos presentados en abril en la reunión de la Sociedad de Paleoantropología en Chicago apuntan a que el comportamiento de los neandertales se parecía al de los seres humanos modernos primitivos. Bruce Hardy, de la Universidad Kenyon, ha estudiado artefactos de Hohle Fels, yacimiento de Suabia, donde se han hallado herramientas fabricadas por los neandertales entre hace 36.000 y 40.000 años, así como objetos creados por seres humanos modernos primitivos entre hace 33.000 y 36.000 años. Ambos grupos vivieron en condiciones ambientales similares en la zona de

ese yacimiento, lo cual hace que sus restos sean ideales para realizar comparaciones.

Hardy examinó el desgaste y los residuos de las herramientas y encontró que, aunque los seres humanos modernos tenían una gama más amplia de artefactos, ambos grupos se dedicaban a actividades similares, como el uso de la resina de árboles para pegar puntas de piedra a mangos de madera y la fabricación de herramientas a partir de hueso y madera. Conjetura que los neandertales no inventaron más herramientas porque podían sobrevivir perfectamente con las que tenían.

—Kate Wong



Hohle Fels, la cueva donde se han encontrado los más antiguos objetos artísticos indubitables que se conocen.

## ASTRONAUTICA

### Orbitas en colisión

Un satélite ruso y un satélite comercial, propiedad de Iridium, una empresa norteamericana de comunicaciones, chocaron a 800 kilómetros de altitud sobre Siberia. Cosa nada imposible, visto el número de objetos en órbita: en los últimos 20 años se produjeron otros tres accidentes, aunque de menor importancia, pues sólo produjeron unas pocas piezas sueltas. Pero en este último impacto los fragmentos a la deriva son centenares. Algunos han descendido hasta la altura de la Estación Espacial Internacional, para la que suponen un riesgo, aunque pequeño, real.

—John Matson

DR. EUGEN LEHLE (Hohle Fels); MATT COLLINS (ilustración)

## DATOS

### Fusión láser

El 29 de mayo, el Laboratorio Nacional Lawrence en Livermore inauguró las Instalaciones Nacionales de Ignición de Estados Unidos, el mayor sistema láser del mundo. Dirigirá rayos láser procedentes de todas las direcciones hacia una bola de hidrógeno congelado del tamaño de un guisante, alojada en un tubo, un *hohlraum* (una cavidad); la calentará hasta una temperatura de millones de grados y provocará la fusión. Los rayos láser deben recorrer cierta distancia para ir recogiendo energía de amplificadores antes de golpear su pequeño blanco. El laboratorio compara la precisión necesaria con la de un lanzador que enviase una pelota desde el estadio AT&T Park de San Francisco hasta el estadio Dodger de Los Angeles. Esta instalación, diseñada para asegurarse de que las cabezas nucleares de los Estados Unidos funcionan correctamente sin necesidad de pruebas reales, proporcionará también un medio para estudiar el interior de las estrellas y la fusión como fuente de energía.

Número de rayos láser que golpean el blanco: **192**

Número de "puntos de control" para amplificar y mantener los rayos: **60.000**

Distancia que recorre el láser: **1 kilómetro**

Tiempo en el que todos los rayos deben golpear el blanco, en billonésimas de segundo: **30**

Energía transmitida al blanco, en joule: **1,8 millones**

Estimación inicial del coste: **1100 millones de dólares**

Estimación inicial de tiempo de construcción: **6 años**

Coste final: **3500 millones de dólares**

Tiempo de construcción: **12 años**



FUENTES: Laboratorio Nacional Lawrence en Livermore; "Beyond the Test Ban", por John Horgan; Scientific American, diciembre de 1996

# Contaminación genética en la perdiz roja

*Estudios genéticos demuestran que la perdiz roja se está cruzando, de forma clandestina, con perdiz turca procedente de China*

La perdiz roja (*Alectoris rufa*) es, sin duda, la especie de caza menor más importante en la península Ibérica. Cada año se cobran varios millones de ejemplares, que reportan cuantiosos ingresos, directos e indirectos, sobre todo si se tiene en cuenta que las regiones más adecuadas para la práctica cinegética carecen a menudo de grandes recursos económicos. Una buena gestión de las poblaciones y de su hábitat resulta fundamental para la conservación de la especie; asimismo, beneficia al conjunto de los ecosistemas en los que medra.

Nos propusimos hace años estudiar la variabilidad genética de las poblaciones naturales de la perdiz roja. Interesaba evaluar posibles efectos nocivos de una caza excesiva, pues los cuellos de botella derivados de la disminución en el tamaño de las poblaciones causan pérdidas notables de variabilidad genética. Importaba también determinar las poblaciones que mantenían niveles elevados de diversidad, con vistas a conservarlas y a poderlas utilizar para la repoblación de áreas más afectadas.

## Amenaza cinegética

La gran demanda cinegética supera ampliamente la productividad de las poblaciones naturales. Tal déficit se compensaría con repoblaciones y sueltas de

animales criados en granja. En las sueltas, los animales se liberan pocos días antes de la celebración de las partidas de caza; las repoblaciones, en cambio, se realizan al acabar la temporada, para preparar la del año siguiente. En ambos casos, aunque más en el segundo, pueden sobrevivir en el campo algunos de los animales liberados. La repoblación suscita también múltiples interrogantes. Por lo pronto se corre el riesgo de extender a las poblaciones naturales problemas sanitarios, como la coccidiosis, habituales en la cría de animales hacinados.

Asimismo, un censo elevado no es sinónimo de estabilidad, variabilidad ni de que los genotipos de los animales liberados sean los más adecuados. ¿De dónde proceden los reproductores de las granjas de cría? ¿De cuántos reproductores se disponen? ¿Qué política de reproducción se aplica, si es que hay alguna? ¿Hay consanguinidad? Resulta casi imposible conseguir toda esa información, pese a la importancia que supone para la conservación de la perdiz roja.

## Genes intrusos

La suelta de animales criados en granja ha dado pie a otro problema de mayor gravedad si cabe: la introgresión de material genético de otras especies. El género *Alectoris* comprende varias especies

parapátricas (originadas por aislamiento reproductivo entre poblaciones contiguas). *A. rufa* ocupa la península Ibérica, islas Baleares y el sur de Francia; también se ha introducido en Inglaterra y en algunos puntos de Italia. En el norte de África y en las Canarias medra la perdiz moruna (*A. barbara*); en el sudeste francés, *A. rufa* se solapa con *A. graeca*, también conocida como perdiz griega o perdiz de roca, que se extiende por Italia y los Balcanes hasta Grecia. A partir de allí se encuentra la perdiz turca (*A. chukar*), con una amplísima distribución que abarca desde las islas griegas y Turquía, por Asia central, hasta el Extremo Oriente. En Asia aparecen también otras dos especies con distribuciones más limitadas, *A. magna* y *A. melanocephala*.

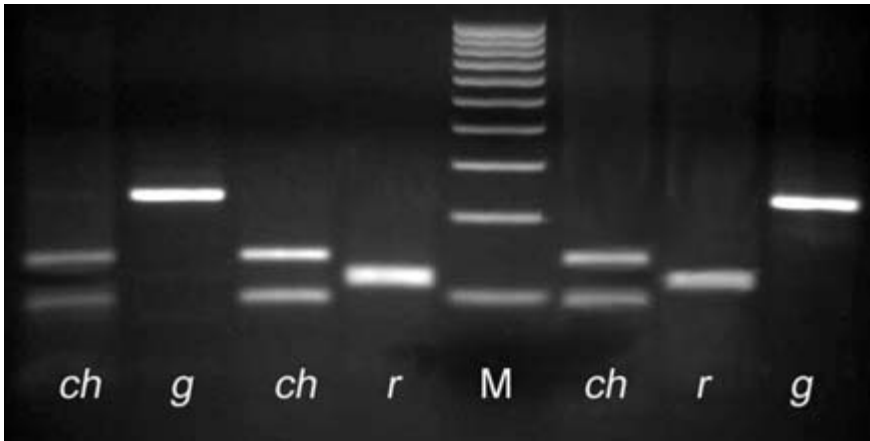
El concepto de especie en el género *Alectoris* es borroso, puesto que algunas especies hibridan entre sí y sus híbridos son fértiles. En las zonas donde se solapan las distribuciones, existen híbridos naturales entre las perdices roja y griega, así como entre las perdices griega y turca; en las granjas, roja y turca hibridan también.

Sin embargo, la perdiz griega y la turca son más fáciles de criar en cautividad que la perdiz roja. Por ello, y a pesar de que la legislación prohíbe la liberación de especies, híbridos o razas que pongan en peligro la pureza de las poblaciones autóctonas, la introducción de estas especies resulta muy atractiva de cara a aumentar la producción de las granjas de cría. Las tres especies difieren en aspecto y en comportamiento en el campo; así, la perdiz roja se caracteriza por el color de las patas que le dan el nombre y, sobre todo, por el collar de plumas oscuras que reviste su pecho).

Los híbridos son más difíciles de distinguir. Requieren una observación más fina. La hibridación conduce a la introgresión, es decir, la mezcla de genes procedentes de especies o subespecies alóctonas. Puesto que las poblaciones locales de perdiz roja presentan una serie de ras-

## 1. Perdiz roja (*Alectoris rufa*).





2. La combinación de digestión enzimática y electroforesis permite diferenciar el ADN mitocondrial de varias especies de perdiz: perdiz turca (*A. chukar*, *ch*), perdiz griega (*A. graeca*, *g*) y perdiz roja (*A. rufa*, *r*). (*M* corresponde al marcador de peso molecular.)

gos que les confieren una perfecta adaptación al medio, tal contaminación genética podría causar serios daños al futuro de la especie. Hace años que los cazadores experimentados, que prefieren la perdiz autóctona, se quejan de la presencia de ejemplares con fenotipos y comportamientos impropios de una perdiz roja.

### ¿Griega o turca?

Las primeras sospechas de hibridación recayeron sobre la perdiz griega. Se sabía que existían en Francia híbridos naturales y que en granjas experimentales hibridaban con facilidad.

Nosotros empezamos por estudiar el ADN mitocondrial; en concreto, parte

de la región de control (*D-loop*), una secuencia de algo más de mil nucleótidos, que incluye dos segmentos de variabilidad elevada. Ettore Randi, del Instituto Nacional para la Fauna Selvática de Bolonia, había descrito las secuencias de la región de control que diferenciaba unas especies *Alectoris* de otras. Por otra parte, se tenían pocos datos sobre la variación dentro de cada especie.

Emprendimos un estudio de perdices rojas procedentes de poblaciones ibéricas de condiciones diversas. Hallamos una variabilidad notable, así como una clara introgresión genética. En nuestro estudio no apareció ninguna secuencia correspondiente a la perdiz griega. De donde se desprendía que, o bien la hi-

bridación con ésta no se estaba produciendo o, si ocurría, no dejaba rastro en las poblaciones, tal vez por ser los híbridos poco competitivos. Sí hallamos secuencias típicas de la perdiz turca: aparecieron de forma masiva en alguna granja de cría (hasta el 50 por ciento de los individuos muestreados), en menor frecuencia en poblaciones bastante explotadas en cuyas proximidades se efectúan sueltas y de forma ocasional en animales de regiones que supuestamente habían estado siempre alejadas de posibles repoblaciones.

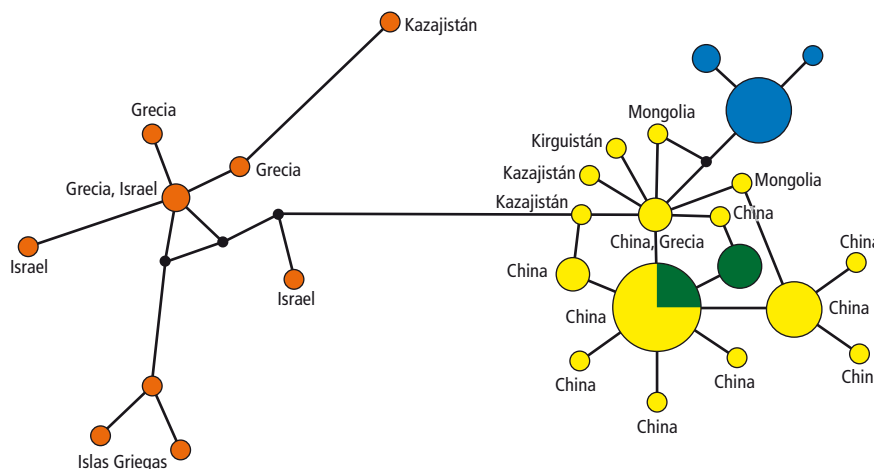
Pronto aparecieron datos de otros grupos del Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos de Ciudad Real, la Universidad de Zaragoza y el Instituto Nacional para la Fauna Selvática en Bolonia, que indicaban igualmente la presencia de genotipos de *A. chukar* en *A. rufa*, españolas e italianas. Está claro que entre estas dos especies se puede descartar una posible contaminación natural o accidental desde poblaciones próximas, pues las perdices turcas más cercanas se hallan en las islas griegas y en Turquía.

¿De dónde procedía la contaminación? *A. chukar* presenta una extensa distribución que comprende Turquía, Próximo Oriente, Kazajistán y otros países del Asia central, y China hasta Manchuria, con cierta diferenciación genética en varias subespecies. Se ha secuenciado el segmento variable de la región de control mitocondrial de animales originarios de distintos puntos. Lógicamente, las secuencias obtenidas de una misma especie guardan siempre una semejanza notable; sin embargo, entre los 243 pares de bases analizados del segmento variable del *D-loop* de *A. chukar* hallamos 25 puntos polimórficos.

### La conexión china

La historia de los haplotipos puede reconstruirse a través de un sistema de redes que relaciona las secuencias que guardan mayor semejanza. Se trata de inferir qué mutaciones tuvieron que ocurrir para formar un haplotipo a partir del otro. Si existe relación entre distancia genética y distancia geográfica —como suele ocurrir en poblaciones naturales—, estas redes filogenéticas pueden superponerse sobre la distribución de la especie.

Las secuencias de *A. chukar* se agrupan en dos grandes clados, que guardan relación con la distribución geográ-



3. Red filogenética que relaciona las secuencias de ADN mitocondrial de la perdiz turca (*A. chukar*). Cada círculo representa un haplotipo; su diámetro es proporcional al número de individuos hallados con esa secuencia; la longitud de la línea que los une es proporcional al número de mutaciones en que difieren dos secuencias. Se distinguen los grupos de haplotipos hallados en la parte occidental de la distribución de la especie (*naranja*) de los hallados en la parte oriental (*amarillo*). Las secuencias típicas de perdiz turca observadas en perdices rojas españolas (*azul*) e italianas (*verde*) se corresponden con el grupo oriental.

fica: uno representa a las secuencias obtenidas de las poblaciones occidentales (Turquía, islas del Egeo, Israel y Georgia); otro a las orientales (Asia central y China).

Introdujimos en la comparación las secuencias de *A. chukar* que, según nuestros hallazgos, contaminaban las perdices rojas ibéricas y las que, según el grupo de Barilani, contaminaba las italianas. Para nuestra sorpresa, todas mostraron un gran parecido a ciertos haplotipos encontrados en China. Los resultados indican, pues, que los *stocks* de *A. chukar* que se están empleando de forma clandestina para cruzar con la perdiz roja proceden de China.

No resulta fácil trazar los orígenes comerciales de esta contaminación. Está claro que en algún momento se importaron perdices turcas de Extremo Oriente (si es que no se sigue haciendo todavía). Es muy posible que en algún punto de la península Ibérica o del sur de Francia se estén manteniendo esos linajes y cruzando con la perdiz roja, cuyos descendientes se acabarán liberando en cotos de caza.

Podría parecer superfluo advertir a quienes están realizando actos fraudulentos que no deberían hacerlo. Sin embargo, de ahora en adelante podría suceder que, por falta de controles genéticos, algunos criadores y responsables de cotos

no sean conscientes de la presencia de híbridos en los animales que compran o sueltan. No se trata sólo de un problema de legalidad. La detección y erradicación de la hibridación con especies alóctonas repercute sólo para el bien de la conservación de un recurso tan importante como la perdiz roja.

**María Martínez Fresno**  
**Nuno Henriques Gil**

Laboratorio de Genética  
Universidad CEU San Pablo

**Pilar Arana**

Depto. de Genética, Facultad de Biología  
Universidad Complutense de Madrid

## Nanoantenas ópticas

*Más allá del límite de difracción*

No se puede, nos enseña la física, focalizar la luz más allá de cierto límite. Sin embargo, en el Instituto de Ciencias Fotónicas hemos conseguido una herramienta que concentra la luz en un punto 10 veces menor que lo que permite la más perfecta de las lentes. El objeto, en forma de antena nanoscópica, abre la puerta a numerosas aplicaciones. De hecho, el punto de luz ultracentrada se ha utilizado ya para atrapar bacterias sin dañarlas.

La física impone un límite infranqueable a la luz: resulta imposible focalizarla a una dimensión menor que una fracción de su longitud de onda. Este umbral, el límite de difracción, explica por qué un microscopio óptico no puede ver objetos infinitamente pequeños. Asimismo, determina la sección mínima que debe tener una fibra óptica para guiar una señal luminosa.

Hasta hace poco se pensaba que nunca podría explorarse, por medios ópticos, la materia a una escala muy inferior al límite de difracción. El mundo nanométrico quedaba, pues, excluido de esa exploración. No obstante, sería de desear un control tan fino de la luz, para mejorar la resolución de los microscopios y la miniaturización de los circuitos ópticos. Por no hablar de la posible resolución de numerosas incógnitas y a la superación de una multitud de retos físicos y médicos.

Nuestro trabajo se centra en la interacción entre la luz y cantidades ínfimas de materia (una o pocas moléculas). La comprensión y optimización de esa interacción allanarían el camino hacia el desarrollo de nanoláseres, sensores ultracompactos y ultra-sensibles y otras nanoherramientas. Los expertos en nanoóptica se afanan por encontrar nuevas vías de manipular la luz por debajo del límite de difracción.

### De antenas de radio a antenas ópticas

En nuestro laboratorio hemos desarrollado una intensa fuente de luz de escala nanométrica. Inspirados en las antenas instaladas en los tejados, que operan

a modo de eficientes receptores de señales de frecuencias de radio, hemos aplicado el concepto de antena al mundo de las frecuencias ópticas.

La parte activa de las antenas de radio consta de dos barras de metal acopladas a un cable coaxial que se conecta al televisor. La longitud de las barras está determinada por una fracción de la longitud de onda que se quiere detectar, típicamente de unas decenas de centímetros. Podemos así aprovechar la resonancia de la antena y maximizar la recepción y el acoplamiento de la señal recibida con el cable.

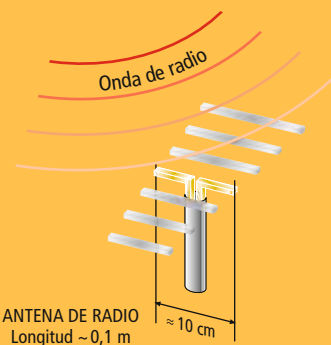
Nuestra nanoantena óptica consta de dos barras metálicas; cada una mide 500 nanómetros de longitud. Se encuen-

### MINIATURIZACION

La nanoantena óptica (*izquierda*) guarda semejanza con una antena de radio (*derecha*): ambas constan de dos barras metálicas acopladas. La principal diferencia reside en el tamaño: las nanoantenas ópticas son unas 100.000 veces más pequeñas que las de radio.



ANTENA OPTICA  
Longitud ~0,000001 m



ANTENA DE RADIO  
Longitud ~0,1 m