

ABRIL 2010

INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**



MEDIOAMBIENTE

Uso abusivo
de los abonos

MICROBIOLOGIA

Mecanismos patógenos
de las bacterias

AUTOMOVIL

Motores de combustión
más eficientes

ASTRONOMIA

Así nacen
las estrellas

www.investigacionyciencia.es

6,00 EUROS

LA VERDAD DEL DESNUDO

¿Por qué los humanos
no tenemos pelo?



SUMARIO

Abril de 2010/Número 403



30

Con una iluminación fluctuante pueden observarse diversas alucinaciones geométricas.



56

Los sistemas de secreción surgieron para proteger a los microorganismos.



14

¿Qué provoca el colapso de nubes de gas que da lugar a una estrella?

40



La disipación térmica y el rozamiento causan las mayores pérdidas energéticas del motor.

ARTICULOS

ASTRONOMIA

14 Formación estelar

Erick T. Young

Las estrellas ocultan su propio nacimiento. La materia a partir de la cual se crea una estrella necesita alcanzar una densidad suficiente para iniciar la fusión nuclear, que no se ha producido todavía.

EVOLUCION

22 Origen de la piel desnuda

Nina G. Jablonski

La investigación ha avanzado en el descubrimiento de la razón de la ausencia de pelo en humanos. La piel desnuda habría desempeñado una función clave en la aparición de otros rasgos importantes.

PERCEPCION

30 Visión prohibida del color

Vincent A. Billock y Brian H. Tsou

Aunque prohibida en las teorías de la percepción del color, la visión del verde rojizo o del azul amarillento no es imposible. Estas y otras alucinaciones permiten atisbar en el fenómeno de la oponencia visual.

TECNICA

40 Motores más eficientes

Ben Knight

Al mismo tiempo que los vehículos ecológicos ganan terreno, las técnicas emergentes podrían conseguir unos motores de combustión interna de rendimientos sustancialmente mayores.

COSMOLOGIA

46 Defectos del universo

Marcos Cruz

La radiación electromagnética más antigua que recibimos nos proporciona información crucial acerca del universo.

MICROBIOLOGIA

56 El arte de la guerra bacteriana

B. Brett Finlay

La investigación reciente revela que las bacterias se adueñan de las células de nuestro organismo y consiguen burlar nuestro sistema inmunitario. Pero nos indica también cómo podemos utilizar en su contra sus propias armas.



22

Para refrescarnos producimos un líquido, que, al evaporarse, se lleva parte de la energía térmica de la piel.



El nitrógeno contaminante emana de chimeneas, tubos de escape y campos abonados.



Una ballena muerta alimenta a un ecosistema especializado durante decenios.

MEDIOAMBIENTE

64 El problema global del nitrógeno

Alan R. Townsend y Robert W. Howarth

Dependemos del nitrógeno para abonar los campos, pero su creciente consumo mundial daña el medio y amenaza la salud.

ECOLOGIA

72 Trofismo póstumo en el océano

Crispin T. S. Little

En las profundidades marinas, los cadáveres de los mayores mamíferos dan vida a ecosistemas únicos.

TOXICOLOGIA

78 Riesgos del bisfenol A

Heather Patisaul

La evaluación de la seguridad sanitaria del bisfenol A está plagada de dificultades e incoherencias. La investigación sobre animales revela que este disruptor endocrino entraña riesgos notables.

SECCIONES

3 HACE...

50, 100 y 150 años.

4 APUNTES

Botánica... Ecología...
Astrofísica... Física...
Metabolismo... Extinciones.

6 CIENCIA Y SOCIEDAD

Dibosones...
Del genoma al filoma...
La corriente de Agulhas...
El "hechizo" genético
de Carlos II...
Inesperado magnetismo.

37 DESARROLLO SOSTENIBLE

Soluciones para un proceso
político deteriorado,
por *Jeffrey D. Sachs*

38 DE CERCA

Volcanes en Santa Pau,
por *Xavier Aurell Bach*

89 TALLER Y LABORATORIO

Obtención de compuestos
de potasio,
por *Marc Boada Ferrer*

92 JUEGOS MATEMATICOS

P = NP. Problema del milenio,
por *Agustín Rayo*

94 LIBROS

Eco-evo-devo.
Biología de altura

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.^a Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
COORDINADORA DE EDICIONES Laia Torres Casas
EDICIONES Ana Ferran Cabeza

Ernesto Lozano Tellechea
PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón
Albert Marín Garau

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

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

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF 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 Inchcoombe
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.^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:

M.^a Rosa Zapatero Osorio: *Formación estelar*; Carlos Lorenzo: *Origen de la piel desnuda*; Luis Bou: *Visión prohibida del color*, *Riesgos del bisfenol A* y *Apuntes*; Juan Manuel González Mañas: *El arte de la guerra bacteriana*; Bruno Moreno: *Apuntes*; J. Vilardell: *Motores más eficientes* y *Hace...*; Joandomènec Ros: *Trofismo póstumo en el océano*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*



Portada: Anthony Marsland, Getty Images

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

Copyright © 2010 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

Irradiación. «Con las nuevas mediciones de la dosis letal media para la función reproductora de las células de los mamíferos ya es posible explicar la dosis letal media, relativamente baja, de 400 a 500 roentgen para la totalidad del cuerpo. Tal dosis deja sólo alrededor del 0,5 por ciento de las células reproductoras del cuerpo con capacidad de multiplicarse. No obstante, la muerte no será inmediata. Cada una de las células ha absorbido una cantidad ínfima de radiación. Aunque hayan sufrido daños cromosómicos apreciables, en general su maquinaria enzimática sigue activa. Cada una de esas células continúa realizando de manera suficiente sus funciones fisiológicas, hasta que llega el momento de reproducirse. Pero en la siguiente división, o en las dos posteriores, la reproducción falla. —Theodore T. Puck»

...cien años

Ferrocarriles contaminados.

«Los talleres del ferrocarril de Potsdam se han enfrentado a la ardua tarea de desinfectar los vagones. Parece que los coches de pasajeros que regresan de Rusia están literalmente infestados de microorganismos. Incluso tras limpiar las unidades con meticulosidad teutónica, persiste la posibilidad de que en paredes y colgaduras sigan al acecho gérmenes patógenos vivos. El problema parece haberse resuelto satisfactoriamente. El aparato de desinfección consiste en un cilindro de unos 22 metros de largo. Incluso en los días más fríos el cilindro puede calentarse hasta los 60 grados Celsius mediante tubos de vapor. Tras lo cual, se lanza aire desde el interior del cilindro. Se evapora así toda la humedad sin que el calor excesivo cause daño alguno.»

Trampas en las cartas. «Los juegos de azar fascinan a personas de todas las clases. Los fulleros profesionales aprovechan esa debilidad para ganarse la vida fácilmente. La baraja es la mejor fuente de ingresos para los jugadores. Se han empleado diferentes dispositivos conocidos como ‘entregadores’, artilugios mecánicos que se ocultan en la manga o bajo el chaleco y que, merced a una leve presión o un pequeño movimiento en cierta dirección, al instante ponen un naipe en la mano del jugador y luego lo retrotraen hasta la manga. Uno de esos mecanismos más ingeniosos y perfectos fue invención de un jugador llamado Keplinger (‘el holandés con suerte’), y desde entonces se conoce como ‘entregador’ Ke-

plinger. El aparato se accionaba con las rodillas, por lo que no hacía falta mover el brazo ni el torso. Un dispositivo más sencillo es ‘la bolsa’, que se adhiere a la madera de la cara inferior del tablero de la mesa. En la pinza así constituida pueden insertarse los naipes. —Hereward Carrington»

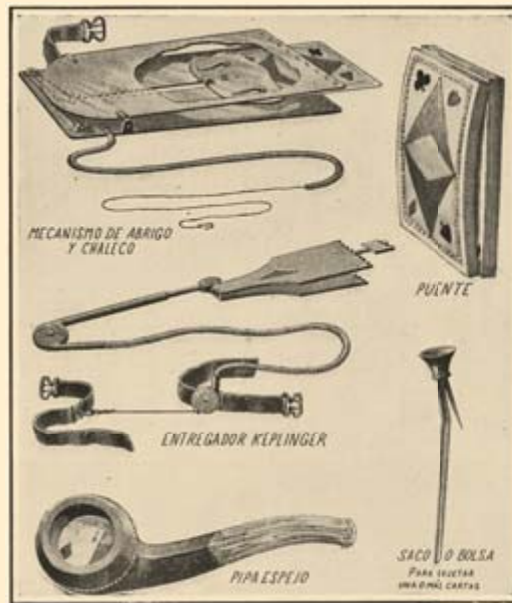
...ciento cincuenta años

Teoría eléctrica. «Los resultados de los experimentos iniciados por sir William Grove son extremadamente curiosos y deben considerarse casi como una prueba de la veracidad de la moderna teoría según la cual la electricidad no es, en sentido alguno, una sustancia material, sino una afección (estado) o movimiento de las partículas de la materia ordinaria. Si la electricidad es incapaz de atravesar el vacío, es probable que el resto de las llamadas fuerzas imponderables —la luz, el calor, el magnetismo y posiblemente la atracción— obedezcan a la misma ley; como esos agentes viajan libremente por los espacios interplanetarios, la suposición de Newton de que tales espacios pudieran estar llenos de una forma de materia etérea recibe un respaldo indirecto pero poderoso.»

Epizootia. «A causa de su continua propagación, la terrible epidemia de enfermedad del ganado amenaza con convertirse en el azote más cruel que jamás haya afligido al país. Las mentes se horrorizan al contemplar las miles de reses que, de Texas a Maine, han sido atacadas por esta enfermedad consuntiva y letal. Es posible imaginarse en parte, aunque no pueda concebirse por completo, el pavor ante las pérdidas que provoca en la comunidad agrícola y el temor a la presencia de carne infectada en nuestras ciudades. En Massachusetts van a designarse tres delegados para estudiar el asunto. Se les ha conferido autoridad para sacrificar, a costa del Estado, todo el ganado enfermo o que haya quedado expuesto al contagio. Se trata de

una enfermedad que afecta a los pulmones, pero no a otros órganos del animal.»

[NOTA: La enfermedad fuera probablemente pleuroneumonía contagiosa bovina.]



LOS PERTRECHOS DE UN JUGADOR: ingeniosos útiles de tahúr, 1910

Erratum corrigie

En el artículo "Apogeo y caída de las nanobacterias", del mes de marzo, en la página 21, donde dice "Paleozoico y Mesozoico, períodos considerados anteriores a la aparición de la vida", debería decir "Paleozoico, Mesozoico y de períodos geológicos considerados anteriores a la aparición de la vida".

BOTANICA

Gravitropismo frente a fototropismo

En el alféizar de una ventana, las plantas experimentan un gradiente lumínico más acusado que los árboles en el campo, donde la tendencia al crecimiento (tropismo) que marca la gravedad suele imponerse a la de la luz, de efectos más sutiles. Las plantas de interior reciben más luz por uno de sus lados. Así se activan en mayor medida las moléculas fotorreceptoras que se encuentran en el lado iluminado. Esa diferencia, o gradiente, tiene una traducción bioquímica en el crecimiento: nos referimos al fototropismo, la tendencia de la planta a buscar la luz.

Los árboles que crecen a una latitud de 60 grados, reciben también una iluminación asimétrica: la luz les llega de forma oblicua, pues la altura del Sol a mediodía es de sólo unos 55 grados al comienzo del verano, que es la estación de crecimiento. Pero en esas regiones, la diferencia en intensidad luminosa es menor y más variable. El módico gradiente lumínico que experimenta el árbol queda contrarrestado por la influencia gravitatoria, incesante, conocida como gravitropismo, que guía a las plantas para que crezcan verticalmente. En el campo, la intensidad del gravitropismo se impone al fototropismo. No ocurre así en los alféizares.

Los contornos de los claros de los bosques constituyen un buen lugar para observar el crecimiento fototrópico a cualquier latitud. En esos puntos se observa, por la inclinación de los árboles hacia el claro, el efecto de un fuerte gradiente luminoso.

—Edgar Spalding



ECOLOGIA

Hojas muertas protectoras

En su mayoría, las herbáceas retienen las hojas muertas. ¿Por qué conservar un peso muerto que pudiera mermar la productividad? Para averiguar la respuesta, M. Oosterheld y sus colaboradores, de la Universidad de Buenos Aires, retiraron las hojas muertas de hierbas de las pampas, donde pasta el ganado, donde pasta el ganado. En ausencia de vacas, la limpieza aceleró el crecimiento de la hierba; en presencia de los bovinos, en cambio, las hierbas limpias fueron devoradas en mayor proporción que las intactas, con resultado de menor crecimiento. Estos hallazgos inducen a suponer que las hojas muertas podrían servir de defensa contra herbívoros.

—Charles Q. Choi



ASTROFISICA

Supernovas en el hielo



Los núcleos de hielo no contienen sólo datos sobre las condiciones atmosféricas del pasado, sino que podrían albergar también indicios relativos a sucesos astronómicos. En un núcleo de hielo de la Antártida, un grupo de investigadores japoneses ha descubierto picos en la concentración de nitratos. Los picos coinciden con dos explosiones estelares ocurridas en el siglo XI, una en 1006 y otra en 1054, que crearon la nebulosa de Cáncer. Los rayos gamma de estas supernovas podrían haber provocado el aumento de los niveles atmosféricos de óxidos de nitrógeno, que quedaron atrapados en forma de iones nitrato en las burbujas de aire de los núcleos de hielo.

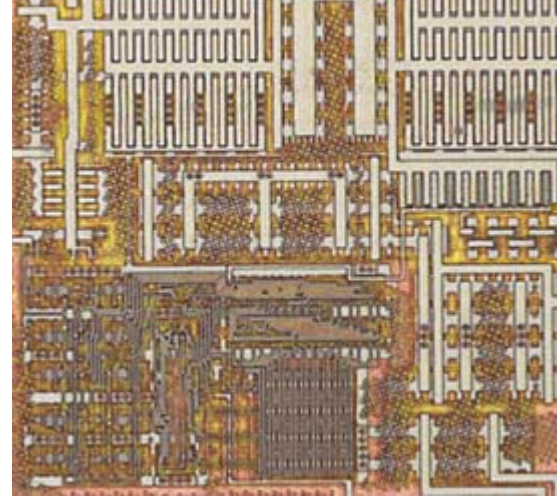
—John Matson

FISICA

Una lógica a la que no le molesta el ruido

A medida que el tamaño de los microchips va disminuyendo, el zumbido electrónico que tiene su origen en las fluctuaciones térmicas, interferencias entre cables y otras causas puede poner en peligro su funcionamiento correcto. Una posible solución del problema reside en la resonancia estocástica, un fenómeno a través del cual el ruido puede realimentar una señal débil y mejorar el rendimiento del sistema. Ciertos tipos de estructuras, como un nervio sensorial, envían una señal sólo cuando el ruido de fondo adquiere cierta intensidad. Un grupo de investigadores dirigido por K. Murali, de la Universidad estatal de Arizona, ha construido puertas lógicas que se comportan de una manera similar. (Las puertas lógicas constituyen elementos de circuito que cumplen funciones lógicas.) Cuando los niveles de ruido son bajos, las puertas son poco fiables; sin embargo, en los niveles de ruido previsible para los transistores de menor tamaño, funcionan correctamente. Dicho comportamiento inusual y no lineal facilitaría la miniaturización de los microchips. Además, la alteración de ciertos voltajes aplicados en el circuito permite reconfigurar la puerta sobre la marcha, lo que crea un procesador de efectos especiales.

—Charles Q. Choi



METABOLISMO

Grasa que quema calorías

Si bien se pensaba que desaparecía al terminar la infancia, el tejido que quema calorías, la grasa parda, podría estar ayudando a algunos adultos a mantenerse delgados. Los recién nacidos tienen grasa parda para ayudar a generar calor corporal, pero esta sustancia parece desaparecer conforme envejecemos. Un estudio dirigido por Wouter D. van Marken Lichtenbelt, de la Universidad de Maastricht, ha demostrado que algunos adultos, sobre todo los que gozan de un índice de masa corporal saludable, mantienen reservas de grasa "buena" metabólicamente activa. El equipo de Francesc Villarroya, de la Universidad de Barcelona, ha descubierto una hormona que regula la actividad de la grasa parda en ratones. Ambos trabajos podrían facilitar el hallazgo de nuevas sustancias para combatir la obesidad.

—Coco Ballantyne



CORTESIA DEL LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION DE HITACHI, LTD. (microchip)

EXTINCIONES

Un cometa acabó con los mamíferos

Hace unos 12.900 años, un enfriamiento global anómalo contribuyó a la extinción de 35 especies de mamíferos, entre ellos el mamut. En algunas zonas, las temperaturas medias podrían haber disminuido en 15 grados centígrados. Nuevas pruebas, halladas en forma de diamantes con una anchura de varios nanómetros, respaldan una teoría que sugiere que la colisión de un cometa o un fenómeno explosivo similar generaron una gran nube de polvo que dio lugar al enfriamiento.

Los nanodiamantes se encuentran sólo en sedimentos expuestos a temperatura y presión elevadas, como los producidos por el impacto de un cometa. Esos nanodiamantes han sido descubiertos por distintos investigadores en seis yacimientos norteamericanos: Murray Springs (Arizona), Bull Creek (Oklahoma), Gainey (Michigan), Topper (Carolina del Sur), Lake Hind (Manitoba) y Chobot (Alberta). Otras investigaciones preliminares, acometidas en Europa, Asia y Sudamérica, encontraron también elementos similares en sedimentos de la misma época, lo que muestra que el suceso tuvo consecuencias globales. Con todo, no fue tan grave como el que acabó con los dinosaurios hace 65 millones de años.

—David Biello



Dibosones

En el detector CDF del Tevatrón se ha observado un proceso del que hasta ahora sólo se conocía la posibilidad teórica

La producción de dibosones, uno de los procesos físicos predichos por el modelo estándar de la física de partículas que aún no se había confirmado empíricamente, ha sido observada hace poco por un grupo de físicos en el detector CDF del Fermilab, el laboratorio de física de partículas —en Batavia, Illinois— que alberga el Tevatrón, un acelerador-colisionador de protones y antiprotones.

En el Fermilab, una compleja cadena de aceleradores produce y acelera haces de protones y antiprotones que, finalmente, se inyectan en el Tevatrón, un anillo imponente de 1 km de radio. Las colisiones frontales entre esos haces tienen lugar en dos puntos del anillo; cada impacto de un protón y un antiprotón crea partículas que, muchas veces, se desintegran en otras, antes de que podamos detectarlas directamente. Lo que se observa en realidad son, pues, esas otras partículas secundarias.

Rodeando uno de estos puntos se encuentra el detector del colisionador del Fermilab (CDF), un ingenio polivalente diseñado para detectar las partículas

generadas en las colisiones protón-anti-protón y medir sus propiedades (véase la figura 1). Consta de tres subsistemas primarios: el sistema de trazas, el de calorimetría y el de muones.

La parte más interna corresponde al sistema de trazas. Las partículas cargadas ionizan átomos del detector, lo cual, tras una amplificación, crea trazas que señalan el camino seguido por las partículas. Bajo el efecto de un campo magnético, esas trayectorias se doblan; la curvatura que adquieren dice el momento de la partícula, que depende de su masa y de su velocidad pero no permite conocer cada una por separado.

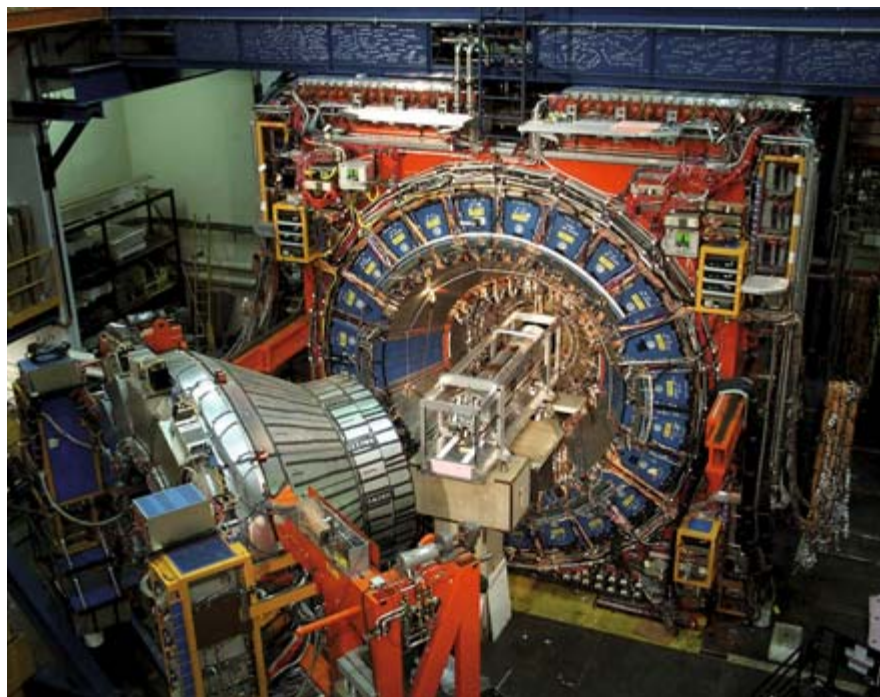
El sistema de trazas está rodeado por el detector de tiempo de vuelo, diseñado para proporcionar una buena identificación de partículas con un bajo momento transversal, la componente perpendicular al movimiento de las partículas que colisionaron. El detector de tiempo de vuelo mide directamente el tiempo que tarda una partícula determinada en llegar a él y, a partir de esta información, se puede inferir su masa y, por tanto, el tipo de partícula de que se trata.

El sistema de trazas y el detector de tiempo de vuelo se encuentran inmersos dentro de un solenoide superconductor, el que genera el campo magnético de 1,4 tesla que actúa en el sistema de trazas. El imán está rodeado por el sistema de calorimetría, que consta de un calorímetro electromagnético y otro hadrónico. Su tarea consiste en medir energías; estas, junto con los momentos obtenidos en el sistema de trazas, permiten determinar, a posteriori, las masas de las partículas.

El calorímetro electromagnético se encarga de los electrones, y el hadrónico, de protones, neutrones o mesones (los “hadrones”). En la parte más externa del detector, rodeando al resto de los subsistemas, se encuentran las cámaras de detección de muones.

Con este detector, un grupo de investigadores, formado por Martina Hurwitz y Florencia Canelli, de la Universidad de Chicago, Craig Group y Ricardo Eusebi, del Fermilab, Bárbara Alvarez, de la Universidad de Oviedo, Bruno Casal, del Instituto de Física de Cantabria, y Enrique Palencia, del Fermilab, han detectado la producción de dibosones, es decir, del bosón W junto con otro bosón W o Z , proceso extremadamente difícil de observar debido a su baja probabilidad de producción en el Tevatrón y a la gran cantidad de otros procesos físicos que presentan el mismo estado final.

Según la teoría cuántica de los campos de fuerza, cada fuerza, o interacción, está asociada a un tipo determinado de partícula elemental que interacciona con las partículas que constituyen la materia. En el caso del electromagnetismo, la partícula es el fotón. La fuerza débil —la interacción entre partículas a la que se debe la desintegración radiactiva de los núcleos inestables— se halla vinculada a los bosones W y Z . En concordancia con las predicciones del modelo estándar, en el Tevatrón se produce una elevada cuantía de bosones W y Z . Escasean mucho más los sucesos donde un bosón se produce junto con otro bosón, como acontece con la generación de pares WW o WZ . La frecuencia de producción de este tipo de su-



1. El detector CDF (Collider Detector at Fermilab).

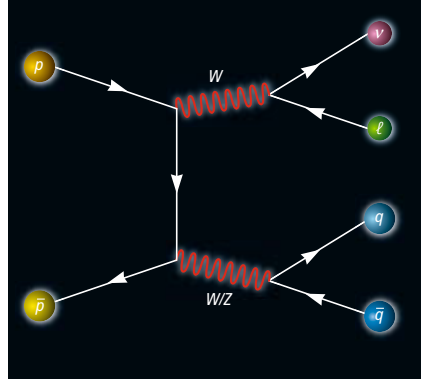
cesos resulta varios órdenes de magnitud menor que la de otros procesos, lo que complica sobremanera su observación.

En particular, los científicos del CDF se han centrado en aquellos procesos donde un bosón W se desintegra en un electrón o muon y un neutrino, y el otro bosón W o Z se desintegra en un par de quarks (véase la figura 2), que, al interactuar con la materia del calorímetro, generan dos chorros de partículas.

El primer paso del análisis consiste en identificar la presencia de ese estado final tras una colisión. Para ello se utiliza el detector CDF. Gracias al sistema de trazas, podemos identificar las partículas cargadas, como son los electrones o muones, y gracias al calorímetro, reconstruir los chorros de partículas producto de la interacción de los quarks con la materia del calorímetro.

Una vez identificado el estado final como estado que se produciría en la desintegración del par WW o WZ , hay que determinar qué otros sucesos producirían también ese estado final: un electrón o muon, una falta de energía transversal (se la lleva el neutrino, que, debido a su escasa capacidad de interacción, no se detecta) y dos chorros. Y, desafortunadamente, no sólo existen otros procesos físicos cuyo estado final resulta compatible con el de la desintegración de los bosones WW/WZ ; además, suceden con mucha mayor probabilidad.

Por lo tanto, tras la selección de los sucesos con un estado final como el que se seguiría de la desintegración de los bosones WW/WZ , la muestra de datos



2. Este esquema, o "diagrama de Feynman", representa lo que ocurre cuando la colisión de un protón p y un antiprotón \bar{p} crea una pareja de bosones W y W , o W y Z : se desintegran en un neutrino ν y un leptón (un electrón o muon, ℓ), y en un quark q y un antiquark \bar{q} . En el diagrama no se representa la hadronización de los quarks, que genera dos chorros de partículas.

contiene no sólo los sucesos interesantes, los correspondientes a esa señal, sino también los sucesos de fondo. Y aquí radica la segunda gran complejidad de este análisis: cómo separarlos.

Para ello, los investigadores de CDF aplican una técnica que proporciona la probabilidad de que un suceso sea señal o fondo. Para calcular tales probabilidades, se requiere conocer la energía y momento de los chorros y del electrón o muon del suceso, medidos por el detector. Una vez calculadas las probabilidades, se define una variable discriminante por suceso: el cociente de la probabilidad de la señal y la suma de la probabilidad de la señal más las probabilidades de fondo.

Con esa variable, los científicos del CDF han podido determinar la existencia de sucesos WW/WZ con un nivel de

confianza tal, que la probabilidad de que los sucesos observados se deban a una fluctuación estadística del fondo es menor de 4 por cada 100 millones de sucesos. Queda así probada la existencia del proceso.

Una vez seguros de la presencia de este tipo de sucesos, se ha medido la sección eficaz de la producción de bosones WW/WZ . La sección eficaz es una magnitud, medida en unidades de superficie, a menudo el *picobarn*, que expresa la probabilidad de que un suceso del tipo de que se trate se produzca por cada colisión protón-antiprotón. El valor obtenido es de $17,7 \pm 3,9$ pb (picobarn), valor compatible con la predicción teórica de $15,1 \pm 0,8$ pb.

Se trata de una observación del máximo interés. No ya porque coloque una pieza más en el rompecabezas del modelo estándar, sino también porque se refiere a un proceso de producción muy parecido al del bosón de Higgs, partícula necesaria para explicar que el resto de las partículas que conocemos tengan masa, pero que, a día de hoy, aún no se ha observado. Por lo tanto, se puede decir que los científicos de CDF han dado un paso más en la carrera hacia el descubrimiento del bosón de Higgs al probar que en el Tevatrón se pueden identificar sucesos muy poco frecuentes y muy similares a la producción del Higgs.

Bárbara Álvarez González
y **Enrique Palencia Cortezón**
Fermilab
Batavia, Illinois

Del genoma al filoma

La evolución de un genoma vista a través de todos sus genes

La comparación de secuencias de ADN o proteínas de organismos distintos permite reconstruir la historia evolutiva de esas macromoléculas. Dicha historia suele representarse en forma de árbol filogenético. Lo mismo que un árbol genealógico informa sobre las relaciones de parentesco entre los miembros de una familia, un árbol filogenético establece relaciones entre moléculas emparentadas en el curso de la evolución.

La obtención de filogenias moleculares tiene numerosas aplicaciones en la

biología moderna. Quizá la más conocida sea la inferencia de parentesco evolutivo entre especies, pero hay otras. El análisis filogenético de una familia de genes de especies distintas nos permite detectar qué genes derivaron de un mismo gen en una especie ancestral. Esos genes ortólogos tienden a conservar funciones similares en especies distintas. Su conocimiento nos ayuda a decidir, por ejemplo, en qué gen debemos centrar el estudio de una especie modelo para comprender una patología humana. Asimismo,

el análisis filogenético arroja luz sobre eventos pasados de duplicación o pérdida de genes. Una información que puede utilizarse para descubrir genes con historias evolutivas semejantes, lo que podría sugerir una interacción funcional conservada entre ellos.

Tamaño potencial nos ha llevado a proponernos la reconstrucción de las historias evolutivas de todos los genes codificados por un genoma. La obtención de tal colección de árboles filogenéticos, o *filoma*, entraña numerosos retos técni-

Arbol filogenético de la proteína supresora de tumores p53 y sus homólogos. La longitud de cada rama (líneas horizontales) es proporcional a la divergencia entre las secuencias que une. Los nodos internos del árbol se han coloreado para indicar eventos de especiación ocurridos en el pasado (rojo) o duplicación (azul). Dos eventos de duplicación que ocurrieron en la base de los vertebrados definen las subfamilias p53, p73 y p63.

Las proteínas dentro de cada recuadro serían ortólogas entre sí; las de recuadros distintos, parálogas. Se observa también una duplicación independiente en la ascidia intestinal (urocordado). La mosca *Drosophila melanogaster* posee sólo un miembro de esta familia, ya que el linaje no sufrió ninguna duplicación. Puede consultarse este árbol y el de otras familias de genes humanos en www.phylomedb.org.

cos y conceptuales. Implica un gran número de pasos, que van desde la búsqueda y comparación de secuencias similares hasta la creación de modelos matemáticos refinados para hallar el camino evolutivo más probable que explique las diferencias observadas en las secuencias.

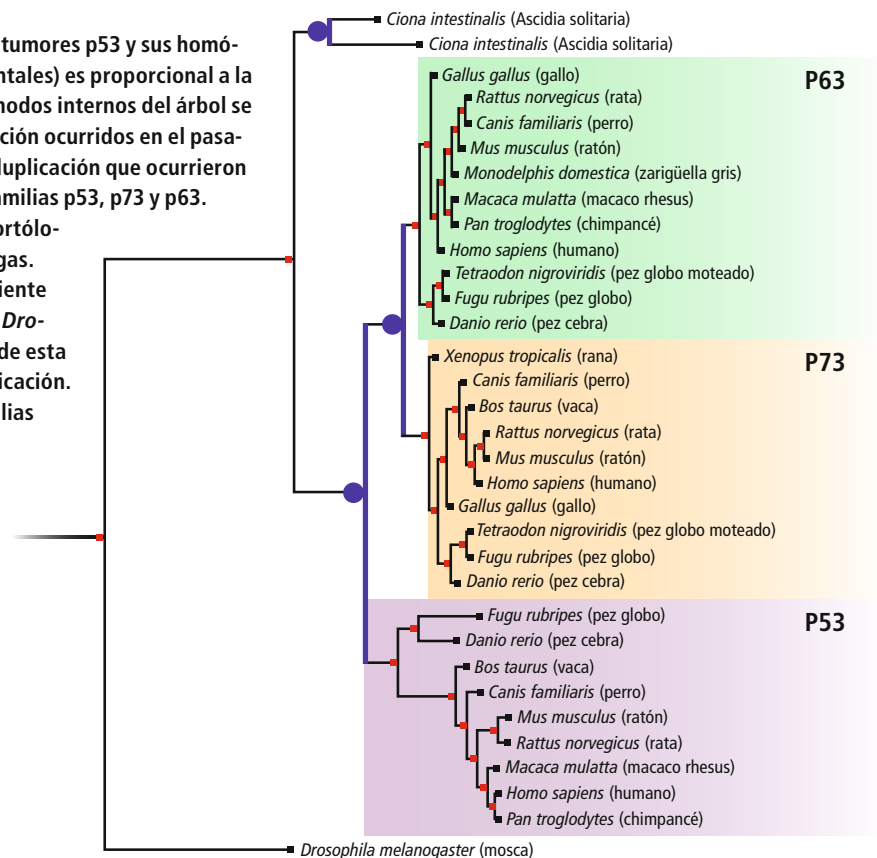
Filogenética automatizada

A finales de 2005 acometimos la reconstrucción del filoma humano. Se automatizó el proceso al máximo, sin comprometer por ello la calidad del resultado. El diseño implicó la selección de los algoritmos evolutivos más veloces, fiables y fácilmente integrables en una cadena de procesos automatizada. Requirió también la programación de nuevos algoritmos para el procesado y análisis de datos filogenéticos a escalas genómicas. Por fin, aplicamos técnicas heurísticas que permitiesen decidir de forma automática qué modelos debían aplicarse en función de las características de la familia génica en cuestión. En resumen, automatizamos el proceso que un filogenetista seguiría para obtener la historia evolutiva de un gen y lo aplicamos sobre los más de 20.000 genes codificados en el genoma humano.

El trabajo culminó en 2007 con la reconstrucción completa del filoma humano. Su obtención requirió un enorme poder de cálculo, equivalente a 23 años de cómputo en un procesador. Gracias al uso en paralelo de cientos de procesadores (entre ellos algunos de la supercomputadora *Mare Nostrum* del centro de supercomputación de Barcelona), obtuvimos resultados en pocos meses.

Evolución genética

Con los datos en la mano, disponíamos de una visión privilegiada sobre la evolución de nuestro genoma, a través de cada uno de sus genes. Analizamos los



resultados para responder a ciertas preguntas sobre nuestra evolución. Uno de los retos más interesantes fue estudiar el modo en que las familias génicas habían incrementado su tamaño a través de sucesivas rondas de duplicación ocurridas a lo largo de la evolución. Nuestros datos avalaban la hipótesis de que, tras la separación de cordados y vertebrados, los segundos sufrieron al menos una ronda completa de duplicación de todo su genoma (poliploidización). Otras duplicaciones a menor escala habrían afectado a otras familias génicas.

Asimismo, las familias duplicadas en los mismos períodos evolutivos mostraban cierta coherencia funcional que guardaba relación con las innovaciones evolutivas de cada período. El perfeccionamiento del sistema nervioso en cordados, por ejemplo, se asoció a la expansión de familias génicas implicadas en desarrollo neuronal.

El filoma humano nos permitió también esclarecer el parentesco evolutivo con genes de otros 38 organismos. Para facilitar el acceso a los resultados de nuestra investigación, desarrollamos la base de datos www.phylomeDB.org, que recopila todas las historias evolutivas. En la actualidad, la base contiene información de los filomas de más de 15 es-

pecies, incluidos numerosos organismos modelo como la levadura *Saccharomyces cerevisiae* o la bacteria *Escherichia coli*. La base de datos es utilizada por investigadores de todo el mundo para buscar relaciones de ortología entre genes o para obtener un marco evolutivo en el cual interpretar la evolución de un proceso.

En fecha reciente hemos aplicado la reconstrucción de filomas a las fases iniciales de anotación de genomas tras su secuenciación. La obtención de un filoma permite anotar los genes del nuevo genoma a partir de sus relaciones de ortología con especies modelo. Además, se obtiene una valiosa información filogenética que podría ayudar a plantear hipótesis contrastables sobre la evolución y biología de la especie en cuestión.

El primer proyecto de secuenciación genómica que ha utilizado una aproximación filogenómica en el proceso de anotación de los genes ha sido el del insecto *Acyrtosiphon pisum*. A partir de las relaciones de ortología con el insecto modelo por excelencia, la mosca *Drosophila melanogaster*, se ha determinado la función de 4000 genes.

Toni Gabaldón y Jaime Huerta-Cepas
Centro de Regulación Genómica
Barcelona

La corriente de Agulhas

Un flujo discontinuo de aguas cálidas y saladas del océano Indico al Atlántico contribuyó a restablecer los climas interglaciales

Los océanos desempeñan una función primordial en el clima de la Tierra, en razón de su capacidad para almacenar y transportar calor, agua y carbono en un amplio rango de escalas espaciales y temporales. Las corrientes oceánicas superficiales y la circulación oceánica intermedia y profunda se hallan interconectadas de tal modo, que se engloban en la expresión “la gran cinta transportadora oceánica” (“The Great Ocean Conveyor Belt”). Uno de los componentes clave de esa cinta transportadora es la corriente de Agulhas.

La corriente de Agulhas corresponde a la parte más occidental del giro subtropical del océano Indico. Es la mayor corriente oceánica del hemisferio sur. Transporta unos 70 millones de metros cúbicos por segundo —lo que equivale a 70 sverdrups, o Sv (1 Sv corresponde a 10^6 m³/s)— de aguas tropicales superficiales (entendiendo por aguas superficiales las incluidas entre la superficie y el límite inferior de la termoclina) a lo largo del margen este del continente africano hacia el sur. Por su elevado caudal y características hidrográficas se considera a la corriente de Agulhas como la equivalente a la corriente del Golfo en el hemisferio meridional. E igual que ésta, influye en el clima de las regiones adyacentes: por ejemplo, altera los patrones de lluvia de la parte sur del continente africano.

Al llegar a la parte más meridional de Africa, la corriente de Agulhas sufre un cambio brusco de trayectoria, retornando en su mayoría hacia el océano Indico. Sin embargo, parte de la corriente se separa del flujo principal en forma de anillos y filamentos, con el consiguiente transvase discontinuo de aguas tropicales, cálidas y saladas, del océano Indico al Atlántico. Se estima que se transvasan anualmente entre 5 y 8 Sv de aguas del océano Indico al Atlántico. Aunque puede parecer un volumen reducido, resulta de gran importancia para la circulación oceánica global, ya que contribuye a regular la intensidad de la corriente del Golfo (a lo largo de la costa este de los EE.UU.) y, en última instancia, la intensidad de forma-

ción de aguas profundas en las altas latitudes del océano Atlántico.

Balance de salinidad del océano Atlántico

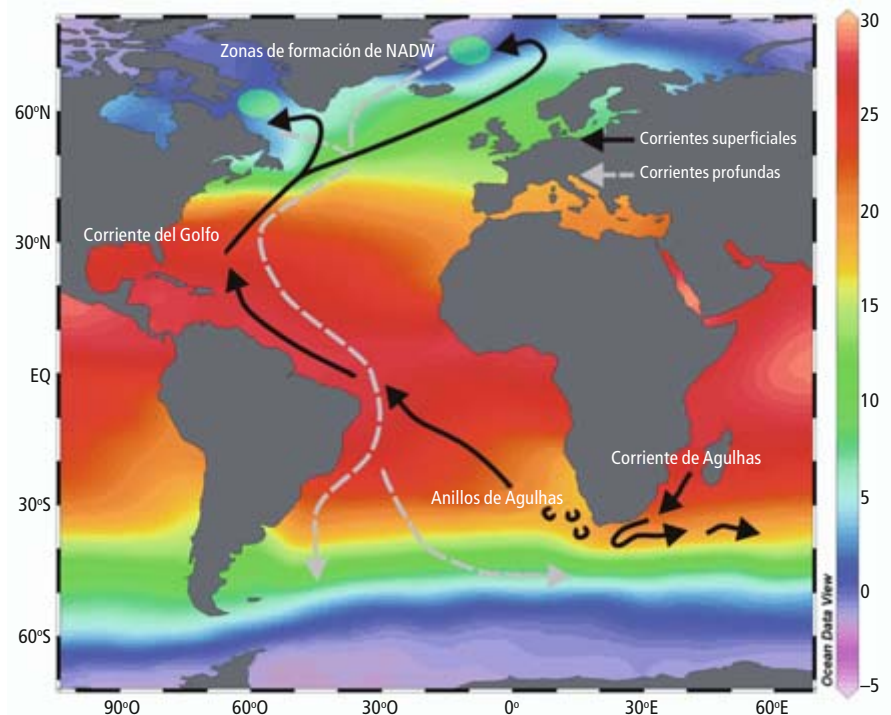
La formación del “agua profunda del Atlántico norte” (NADW, por sus siglas en inglés) constituye una componente esencial de la gran cinta transportadora oceánica; es muy sensible a pequeños cambios de salinidad en sus precursores superficiales que llegan al norte a través de la corriente del Golfo. La NADW se exporta al resto de los océanos mediante corrientes que viajan a grandes profundidades.

La pérdida de aguas profundas que sufre el océano Atlántico es compensada sobre todo por dos rutas de retorno superficiales: la fría y la cálida. La ruta fría se alimenta de aguas frías y poco sa-

ladas del océano Pacífico, transportadas hacia el océano Atlántico a través del Paso de Drake (extremo meridional del continente americano). La ruta cálida, en cambio, aporta aguas cálidas y saladas a través del flujo discontinuo de anillos y filamentos de la corriente de Agulhas alrededor del margen sudafricano.

Se debate sobre cuál de las dos rutas reviste mayor importancia para la circulación oceánica global. No obstante, numerosas pruebas muestran que la ruta cálida desempeña una función primordial en los balances de salinidad de la cuenca atlántica, al ser su aporte de sal fundamental para la formación de NADW en las latitudes elevadas del Atlántico norte.

Simulaciones numéricas de la circulación del océano Atlántico indican que el



Circulación oceánica atlántica. Las elipses verdes corresponden a lugares de formación del “agua profunda del Atlántico norte” (NADW). En el margen oriental de la parte sur del continente africano se representa la corriente de Agulhas con su retorno hacia el océano Indico y transvase de anillos de agua de Agulhas hacia el Atlántico. Los anillos de Agulhas generan anomalías de densidad y salinidad en el Atlántico meridional, que contribuyen a modular la intensidad de la corriente del Golfo y, en última instancia, la intensidad de la convección de NADW. El mapa base representa la media anual de temperaturas de la base de datos WOCE 2002; se ha obtenido mediante el programa Ocean Data View 2005.

flujo intermitente de aguas cálidas y saladas de la corriente de Agulhas hacia el Atlántico sur produce anomalías de densidad y salinidad, que, al ser transportadas a latitudes septentrionales, modulan la intensidad de la corriente del Golfo, la cual alimenta subsecuentemente la formación de NADW. Dado que la corriente del Golfo y la formación de aguas profundas en el Atlántico norte regulan la estabilidad y suavidad del clima europeo, se infiere que la corriente de Agulhas desarrolla una función clave en el clima no sólo regional, sino también global.

La corriente de Agulhas en el pasado

Una forma de mejorar nuestro conocimiento sobre la corriente de Agulhas y su función en la formación de NADW consiste en investigar su evolución en el pasado geológico. Algunos estudios muestran una acumulación considerable de agua proveniente de la corriente de Agulhas en el Atlántico sur durante las terminaciones glaciales (períodos de transición de una época glacial a una interglacial). Ello sugiere que dicha entrada de aguas cálidas y saladas podría haber resultado fundamental para el restablecimiento de las condiciones de clima interglacial. Simulaciones con modelos numéricos han dado lugar a esas mismas conclusiones.

Una investigación más reciente en testigos sedimentarios del margen oeste del Banco de Agulhas (Sudáfrica) aporta una información más detallada. Se ha basado en análisis de isótopos estables de oxígeno y carbono, así como de elementos traza (magnesio y cadmio) en la concha de microfósiles (foraminíferos planctónicos y bentónicos). Puesto que la composición de tales conchas varía en función de los parámetros ambientales en los que vivieron los organismos, permite la reconstrucción de los climas pasados.

Las nuevas reconstrucciones corroboran la presencia elevada de aguas de Agulhas en el Atlántico sur, pero no sólo durante las terminaciones glaciales, sino también varios miles de años antes. Ello coincide, además, con etapas de intensificación en la formación de NADW. Los resultados apoyan la hipótesis de que el aporte de aguas de Agulhas contribuye a la formación de NADW y a la restauración de las condiciones climáticas cálidas.

Este estudio realizado en el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales de la Universidad Autónoma de Barcelona evidencia también la importancia de otros factores. Durante determinadas fases de los períodos glaciales se observan niveles elevados de aguas de Agulhas en el margen Atlántico de Sudáfrica, cuando la cir-

culación profunda estaba dominada por aguas generadas alrededor de la Antártida, es decir, cuando la convección en el Atlántico norte era menos intensa. Tal fenómeno señalaría que, en esas épocas, habría otros factores climáticos, oceánicos o ambos que contrarrestaban el efecto positivo que el aporte de aguas de Agulhas tendría que producir en la convección de NADW.

Se ha observado que, precisamente en esas épocas, las descargas masivas de icebergs en el Atlántico norte eran mayores. El aporte de agua dulce proveniente de la fusión de los icebergs contrarrestaría el efecto intensificador de las aguas cálidas y saladas de Agulhas en la formación de NADW, lo que minaría las posibilidades de entrar en un período climático cálido.

Si bien existen condiciones climáticas que pueden disminuir su potencial regulador en la convección de NADW, la corriente de Agulhas se ratifica como una componente clave de la gran cinta transportadora. Estos resultados destacan la importancia de llevar a cabo estudios de monitorización del transvase de aguas del océano Índico al Atlántico a fin de predecir posibles cambios en la formación de NADW y su subsecuente influencia en el clima.

Gema Martínez Méndez

El “hechizo” genético de Carlos II

La estrecha consanguinidad de los Austrias ayuda a explicar una parte importante de las enfermedades de Carlos II

Cuando el rey Carlos II fallece en el año 1700 sin dejar descendencia, la dinastía de los Habsburgo, o Casa de Austria, se extingue en España tras casi 200 años de historia. Carlos II (1661-1700) fue una persona sumamente débil, aquejada de numerosas dolencias y enfermedades a lo largo de toda su vida, lo que le valió el sobrenombre de “El Hechizado”. No pudo hablar hasta los 4 años y no consiguió caminar hasta los 8. De carácter abúlico, mostró escaso interés por el medio que le rodeaba. Era raquítico, tenía cálculos renales y hematurias esporádicas. Además, sufrió frecuentes problemas intestinales, con diarreas y vómitos.

Se casó dos veces, a los 18 y a los 29 años; con ninguna esposa tuvo hijos. (Su primera mujer hablaba de eyaculación precoz y, la segunda de impotencia.) A partir de los 30 años tiene aspecto de anciano, con edemas en pies, piernas, vientre y cara. En los últimos años de su vida apenas podía mantenerse en pie y su estado empeoraba hasta que muere prematuramente a los 39 años.

Los historiadores han sugerido en más de una ocasión que los problemas de salud de Carlos II y, en última instancia, la extinción del linaje de los Habsburgo españoles pudieron deberse a la alta incidencia de matrimonios consanguíneos que

se produjo en la dinastía, pues de los 11 matrimonios que contrajeron los reyes Habsburgo desde Felipe “el Hermoso” (1478-1506), fundador de la dinastía Habsburgo en España, hasta Carlos II, dos fueron matrimonios tío-sobrina (Felipe II con su cuarta esposa Ana de Austria y Felipe IV con su segunda mujer Mariana de Austria), otros dos fueron matrimonio entre primos hermanos y cinco matrimonios más fueron uniones consanguíneas de menor grado.

La hipótesis de la consanguinidad como causa de la extinción de la dinastía española de los Habsburgo es muy seductora, pero los datos históricos en