

¿EXISTEN LAS RAZAS? • ILUSIONES GEOMETRICAS

# INVESTIGACION *y* CIENCIA

FEBRERO 2004  
5,50 EURO

Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**

## EL EPISODIO DE IMPACTO DE CHICXULUB

**AGUJEROS NEGROS  
EN CONDENSADOS DE BOSE-EINSTEIN**

**LA NUEVA LUNA**

**BORRADO CUANTICO**

**ULUGH BEG**



**3**

## HACE...

50, 100 y 150 años.

**4**

## APUNTES

Etología...

Electrónica...

Vida en el espacio...

Astronomía...

Astrofísica...

Inmunología.

**32**

## CIENCIA Y SOCIEDAD

Importancia del suelo,  
en el cultivo de caña de azúcar...

Origen de los perros  
del Nuevo Mundo... Cetonas...

Limpieza con láser.



**38**

## DE CERCA

Pequeños parásitos del mar.



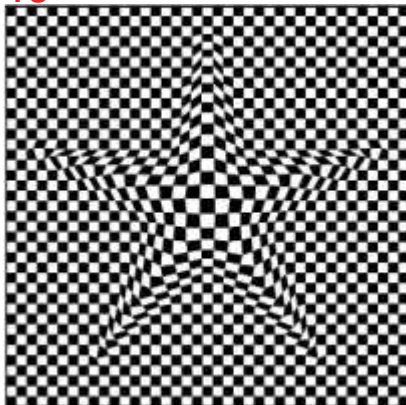
**6**

## ¿Existen las razas?

*Michael J. Bamshad  
y Steve E. Olson*

Si las razas se definen como grupos genéticamente separados, no. Pero se pueden utilizar marcadores genéticos para agrupar individuos con fines médicos y terapéuticos.

**13**



## Ilusiones geométricas

*Jacques Ninio*

Las distintas prioridades que el cerebro gestiona engendran una multitud de ilusiones geométricas. La observación nos las hace "ver" y la imaginación nos incita a crearlas.

**24**

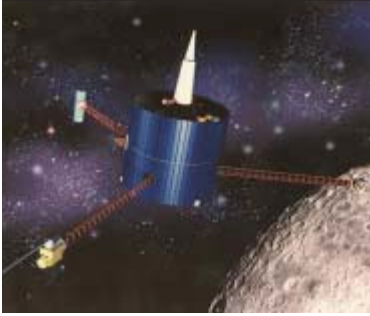
## El episodio de impacto de Chicxulub

*David A. Kring y Daniel D. Durda*

El impacto que aniquiló los dinosaurios desencadenó una oleada de incendios que arrasaron los bosques de la Tierra.



40



## La nueva Luna

*Paul D. Spudis*

Las recientes misiones a la Luna han revelado que todavía hay mucho por aprender del vecino más cercano a la Tierra.

48

## Agujeros negros en condensados de Bose-Einstein

*Carlos Barceló y Luis J. Garay*

Los condensados de Bose-Einstein nos ofrecen la posibilidad de experimentar en laboratorios terrestres con "maquetas en miniatura" de objetos celestes tan esquivos como los agujeros negros.

59

## Borrado cuántico

*Stephen P. Walborn, Marcelo O. Terra Cunha, Sebastião Pádua y Carlos H. Monken*

En mecánica cuántica cada historia tiene dos caras, pero sólo se puede ver una de ellas a la vez. Los experimentos muestran que, al "borrar" una, aparece la otra.



68



## Ulugh Beg

*Bernhard Du Mont*

Uno de los astrónomos más famosos de Oriente en el siglo xv, este soberano hizo construir en Samarcanda un gran observatorio astronómico y realizó una competente investigación del firmamento.

## Las tablas de Ulugh Beg

*Heiner Schwan*

El núcleo del Zidj de Ulugh Beg ("Tablas de Ulugh Beg") es un catálogo con 1018 estrellas, sus brillos y posiciones.

83

## CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

Manzanas que se atraen y cortinas de baño molestas, por Wolfgang Bürger



86

## JUEGOS MATEMÁTICOS

Las ventajas de la solidaridad, por Juan M.R. Parrondo

88

## IDEAS APLICADAS

Esquís electrónicos, por Mark Fischetti



90

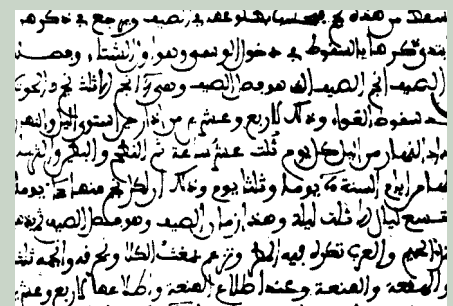
## LIBROS

Islam, saber exacto...

Biotecnología...

Evolución de la meteorología...

Matemática.



96

## AVENTURAS PROBLEMÁTICAS

¡No me digas!,

por Dennis E. Shasha

# INVESTIGACION 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  
Bernat Peso Infante

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 Telefax 934 145 413  
www.investigacionyciencia.es

## SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie  
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina  
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting  
NEWS EDITOR Philip M. Yam  
SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix  
SENIOR EDITOR Michelle Press  
SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs  
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,  
Graham P. Collins, Carol Ezzell,  
Steve Mirsky y George Musser  
PRODUCTION EDITOR Richard Hunt  
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL  
Dean Sanderson  
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER  
Gretchen G. Teichgraber  
CHAIRMAN Rolf Grisebach

## DISTRIBUCION

### para España:

#### LOGISTA, S. A.

Aragoneses, 18  
(Pol. Ind. Alcobendas)  
28108 Alcobendas (Madrid)  
Tel. 914 843 900

### para los restantes países:

#### Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona  
Teléfono 934 143 344

## PUBLICIDAD

GM Publicidad  
Edificio Eurobuilding  
Juan Ramón Jiménez, 8, 1.<sup>a</sup> planta  
28036 Madrid  
Tel. 912 776 400  
Fax 914 097 046

Cataluña:  
QUERALTO COMUNICACION  
Julián Queraltó  
Sant Antoni M.<sup>a</sup> Claret, 281 4.º 3.<sup>a</sup>  
08041 Barcelona  
Tel. y fax 933 524 532  
Móvil 629 555 703

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### Asesoramiento y traducción:

Antonio Arnáiz: *¿Existen las razas?*; Luis Bou: *Ilusiones geométricas y Aventuras problemáticas*; Joandomènec Ros: *El episodio de impacto de Chicxulub*; M.<sup>a</sup> Rosa Zapatero: *La nueva Luna*; Adán Cabello: *Borrado cuántico*; Francesc Castelló: *Ulugh Beg y Las tablas de Ulugh Beg*; J. Vilardell: *Hace..., Apuntes e Ideas aplicadas*; Jürgen Goicoechea: *Curiosidades de la física*



Portada: Alfred T. Kamajian

## 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	60,00 euro	110,00 euro
Extranjero	85,00 euro	160,00 euro

### Ejemplares sueltos:

Ordinario: 5,50 euro  
Extraordinario: 6,00 euro

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

Difusión controlada

Copyright © 2003 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2004 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 Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

## ...cincuenta años

**MIEDO ROJO.** «El mes pasado, la historia de los espías de Fort Monmouth se desinfló. El senador Joseph McCarthy finalizó una serie de audiencias públicas, de las que había afirmado que ‘demostrarían la existencia de espionaje’ en el laboratorio de radar de Fort Monmouth. Su desfile de testigos no ha conseguido revelar testimonio alguno sobre espionaje. De los aproximadamente 30 científicos del Cuerpo de Transmisiones suspendidos por el Ejército a resultas de las investigaciones de McCarthy, ninguno fue acusado de espionaje. Walter Millis, redactor del *New York Herald Tribune*, comentaba en su columna: ‘Se ha arruinado un establecimiento militar verdaderamente vital y sensible, con mayor saña de lo que habría soñado un saboteador soviético... [mediante] la caza de brujas, el más puro fanatismo, la cobardía, los prejuicios raciales y una absoluta incompetencia’.»

**PLAGA DE CONEJOS.** «Con sentimientos diametralmente opuestos se asiste en diferentes partes del mundo a las dos caras del fenómeno objeto de este artículo: la mixomatosis, enfermedad infecciosa mortal de los conejos. Deliberadamente introducida en Australia hace tres años, se ha extendido por áreas inmensas, produciendo una gran epizootia en los conejos. En Australia, se saluda la enfermedad como una salvación que libra al continente de su

peor plaga; en Europa, donde brotó en 1952, se la ve como un asesino malévolo que amenaza con aniquilar a un animal muy preciado para la mesa, la caza, la compañía y el laboratorio. Con la intención de controlar la enfermedad en Europa, se persigue una vacuna contra el virus mixoma.»

## ...cien años

**RAYOS QUÍMICOS.** «El señor Aug. Charpentier plantea un interesante problema: la diferencia entre los rayos desprendidos por los seres vivos y los rayos N descubiertos por el señor René Prosper Blondlot. En su opinión, esa radiación de los organismos se compone de rayos N y alguna forma nueva de radiación. Esto vale en especial para los rayos procedentes de los centros nerviosos, o nervios; presentan la sorprendente característica de que los interrumpe parcialmente una pantalla de aluminio. Una lámina de 0,5 mm basta para rebajar considerablemente los rayos emitidos por un punto del cerebro. Por el contrario, la pantalla de aluminio apenas modifica los rayos procedentes del corazón, el diafragma y los músculos. Esto constituye una diferencia característica entre las radiaciones musculares y las nerviosas. El efecto generado por los nervios aumenta fuertemente con la compresión; el de los músculos, mucho menos.» [Nota de la redacción: Acabaría comprobándose que

ninguna de estas formas de radiación existía.]

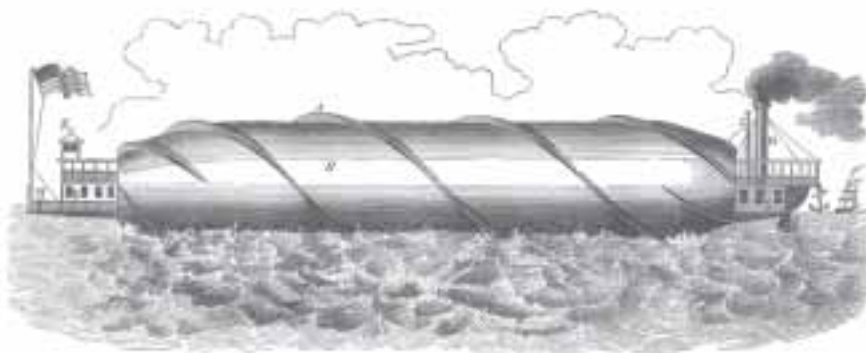
**LA TORRE EIFFEL.** «En *Scientific American* del 26 de diciembre se anunciaba que la famosa Torre Eiffel estaba a punto de venirse abajo, dada la acusada tendencia al vuelco que mostraba. El señor Eiffel niega tal cosa y se refiere al informe del señor Mascart, presidente de la Academia de Ciencias, en el que se dice que ‘la torre se halla en un perfecto estado de conservación, sin que se hayan notado cambios de posición ni en los cimientos ni en la estructura’. Toda comisión competente que hasta ahora haya estudiado la torre ha defendido el buen estado de la estructura y avalado su utilidad científica.»

**Y AHORA LOS MALVADOS ÑUES.** «No parece haber dudas de que el aspecto tan grotesco del ñu es una previsión de la naturaleza para proteger al animal. Cuando se les asusta o molesta, esos notables antílopes realizan una serie de extrañas evoluciones y extraordinarios gestos, al objeto de acentuar la rareza y fealdad de su apariencia y ahuyentar a los intrusos.»

## ...ciento cincuenta años

**PELIGRO OCEÁNICO.** «El grabado adjunto corresponde a una locomotora marina, invento de Henry A. Frost, de Worcester (Massachusetts). Las aletas helicoidales son solidarias de la cara exterior del casco. El cilindro interior, montado en el fondo, mantiene siempre la misma posición. Dispone de un salón que ocupa toda la longitud del buque. El inventor confía plenamente en haber puesto en marcha una revolución total en los viajes oceánicos.»

**ERROR ESTADÍSTICO.** ««En la Tierra hay 1.000.000.000 de habitantes, de los que cada año mueren 33.333.333, o sea, uno cada segundo. Esas pérdidas son compensadas por un número casi igual de nacimientos.»



Locomoción marina antes de la dinámica de fluidos, 1854

## ETOLOGIA

### Perplejidad

Cuando se nos muestra una serie de imágenes, solemos recordar mejor las primeras y las últimas; si se nos pregunta por las intermedias, no sabremos qué contestar. Se ha sometido a la misma prueba a unos monos rhesus. Rehusaban dar una respuesta, por lo general, ante las imágenes intermedias. Aunque no manifestaban las sensaciones



de duda propias de humanos, sí parece que sopesan opciones alternativas en situaciones inéditas. Podría investigarse qué otras especies cuentan con esa capacidad. Al parecer, las ratas y las palomas no; los delfines, sí.

—J. R. Minkel

*Los animales también dudan*

GEORGE D. LEEP Corbis

## ELECTRONICA

### El transistor emisor de luz

El creador del diodo emisor de luz, Nick Ulanyak, el diseñador del transistor bipolar más rápido, Milton Feng, y Walid Hafez, estudiante de doctorado —tres generaciones de ingenieros—, han anunciado la consecución del primer transistor emisor de luz. Se trata de un transistor bipolar de heterounión de fosforo de indio y galio y arseniuro de galio. En la base del transistor se recombinan electrones y huecos —cargas positivas ligadas a la falta de electrones—. Por lo general, el diseño persigue que se minimice este efecto, porque genera un calor inútil. En cam-

bio, Holonyak, Feng y Hafez lo han maximizado para que la base emita fotones infrarrojos. Es parecido a lo que ocurre en los diodos emisores de luz, pero permite modular la luz de salida a velocidades mucho mayores. De momento, han logrado hacerlo a 1 MHz. Si se consiguesen velocidades mayores, y parece muy posible, el dispositivo —que ofrece además de la nueva salida óptica una electrónica— sería apto para su inclusión en chips, donde las conexiones conductoras entre los componentes podrían sustituirse, o combinarse, con conexiones ópticas.

## VIDA EN EL ESPACIO

### Agua potable

Este mismo mes publicamos un artículo donde se habla de que una estación lunar podría obtener el agua que necesitase en la propia Luna. George Bush, por otra parte, anuncia el propósito de enviar de nuevo seres humanos al satélite; la intención es que “vivan y trabajen allí durante períodos cada vez más largos”. Pero, aunque se cumpliesen las palabras presidenciales, no parece que los futuros astronautas pudieran conseguir su agua lunar arrancando pedazos de hielo de una masa compacta. Los sondeos por radar de hace unos años dejaban abierta la posibilidad de que hubiese depósitos semejantes a glaciares en las zonas sombreadas de los cráteres cercanos a los polos. Los datos, sin embargo, se han interpretado de forma muy dispar. La detección de hidrógeno por el Lunar Prospector despierta menos dudas. En todo caso, estas investigaciones no ahondaron más de un metro o dos en el suelo de la Luna. El radar de Arecibo lo ha escrutado ahora, con ondas de 70 centímetros de longitud, hasta una hondura de más de cinco metros, en pequeños cráteres del Polo

Norte y en los cráteres Shoemaker y Faustini del Polo Sur. Al recibirse en el observatorio ecos débiles, se concluyó que no se había dado más que con roca lunar y polvo, que absorben la mayor parte del haz. La decepción de no haber encontrado depósitos potentes no quiere decir que no haya agua. El suelo podría contener cristales del tamaño de pelotas de golf. Pero si fuesen sólo

como copos de nieve, recolectarlos sería difícil. Además, si hubiera habido agua por debajo de los dos metros de profundidad, la cantidad total habría sido mucho mayor que los diez mil millones de toneladas que, según se calcula en estos momentos, posee la Luna, poco más que una laguna. Con sólo esa cantidad, se trataría de un recurso muy escaso. Pese a todo, no es imposible que haya agua en sitios aún no explorados. Ben Bussey, de la Universidad Johns Hopkins, cree que la extensión de las “trampas gélidas” que encierran el hielo lunar duplica la supuesta hasta ahora. Podría haber depósitos en suelos de cráteres invisibles desde la Tierra.

—Sarah Simpson



*Los cráteres Shoemaker y Faustini devolvieron ecos débiles de la señal de radar.*

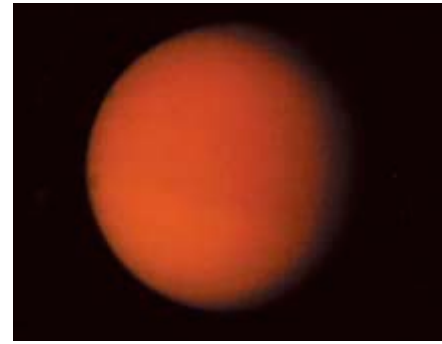
BRUCE A. CAMPBELL Institución Smithsonian

## ASTRONOMIA

### Mares de metano

Titán, la mayor de las lunas de Saturno y único cuerpo del sistema solar, aparte de la Tierra, con una atmósfera rica en nitrógeno, esconde su superficie bajo una espesa neblina anaranjada. Las observaciones de radar efectuadas con radiotelescopios instalados en tierra han atravesado esa cortina nubosa. Al parecer, hay allá lagos de hidrocarburos líquidos. En los ecos de radar se descubrieron unos picos agudos, que señalan la existencia en Titán de zonas reflectoras lisas y oscuras; lo más probable es que sean líquidas. ¿Y qué líquidos puede haber en Titán, con temperaturas de  $-180$  grados? Análisis anteriores de la atmósfera del satélite hallaron metano y otros hidrocarburos, que podrían caer como lluvia sobre la superficie (se cree que formada por agua congelada) y crear lagos de metano y etano líquidos.

—J. R. Minkel



NASA/Laboratorio de Propulsión a Chorro

*Titán, la mayor de las lunas de Saturno, podría albergar, bajo su velo anaranjado, lagos de hidrocarburos*

## ASTROFISICA

### Experimento mental

Si cayéramos de pie en un agujero negro, experimentaríamos una atracción más fuerte en el calcañar que en la coronilla. Nos estiraría y estrujaría. En cualquier agujero esférico y sin rotación, sólo pasarían 0,0904 segundos desde que la diferencia de aceleración entre la cabeza y los pies empezara a desmembrarnos —cuando decuplicase g, celeridad que imparte la gravedad en la superficie de la Tierra— hasta que se alcanzara el centro del agujero. Según J. Richard Gott y Deborah L. Freedman, rodeándonos de un aro más pesado que un asteroide podríamos demorar el momento de la muerte. Esta fantasía tiene el interés de mostrar cómo se entrelazan diversos fenómenos físicos, en apariencia desligados, en un problema concreto. Para que el aro no se derrumbase sobre sí mismo por su propio peso, debería estar dotado de carga, de suerte que la repulsión electrostática compensase la atracción gravitatoria entre sus partículas; éstas se moverían, pues, en mera caída libre. El radio del salvavidas sería en todo momento proporcional a la distancia al centro del agujero. Así, al tirar



el aro hacia arriba desde nuestros pies y hacia abajo desde nuestra cabeza con su propia atracción gravitatoria, lo haría en cada momento (si su masa y radio fuesen adecuados) con una intensidad que contrarrestaría las cada vez mayores fuerzas de marea del agujero. El intenso campo eléctrico del salvavidas cargado no nos afectaría si nos rodease una esfera conductora, una “jaula de Faraday”. Ahora bien, ese campo estimularía la producción de pares de electrones y positrones en el vacío alrededor del aro; éste atraería a los electrones y repelería a los positrones, hasta que se descargase. Con una masa del anillo del orden de una millonésima de la masa de la Tierra y un radio —en el momento en que empezáramos a desmembrarnos— de 28,47 metros, el tiempo de descarga sería de 1,3 segundos y el que pasaría entre ese comienzo de la tortura y el final en el centro del agujero, de sólo  $3,46 \times 10^{-3}$  segundos. Gracias al anillo, se habrían contrarrestado fuerzas de marea de 6760 g. La muerte vendría tan deprisa, que no se percibiría su llegada.

MEHAU KULYK Photo Researchers, Inc.

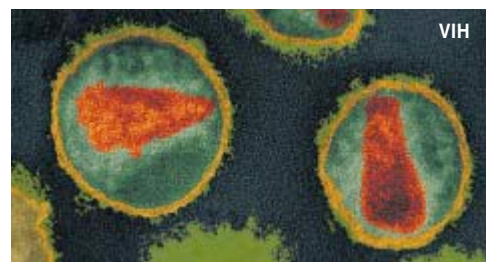
## INMUNOLOGIA

### La resistencia al sida y la viruela

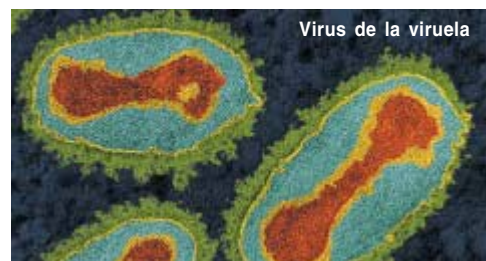
Una mutación impide la producción de una proteína celular a la que se liga el VIH; así, protege del sida. Como mucho, alrededor de un diez por ciento de los europeos cuenta con esa mutación. Debe de ser reciente; quizá se originó hace sólo 700 años. Se ha supuesto que ofrecía resistencia a la peste bubónica que asoló Europa en otros tiempos. Unos genetistas de la Universidad de California en Berkeley sostienen, en cambio, que protegía de la viruela. La distribución geográfica de ésta concuerda bien con las frecuencias de la mutación en Europa. La viruela, además, encaja mejor con la idea de que una mutación permanecerá en el acervo génico si proporciona alguna ventaja: la peste bubónica desapareció del mundo hace 250 años; la viruela, sólo hace 26. Además, el agente de la peste es una bacteria, mientras que el VIH es un virus de ARN.

—Charles Choi

*La resistencia al VIH podría deberse a una mutación que se originó hace 700 años y protegía de la viruela*



VIH



Virus de la viruela

EYE OF SCIENCE Photo Researchers, Inc.



# ¿Existen las razas?

Si las razas se definen como grupos genéticamente separados, no.  
Pero se pueden utilizar marcadores genéticos para agrupar individuos  
con fines médicos y terapéuticos

Michael J. Bamshad y Steve E. Olson

**M**ire a su alrededor, en una calle de cualquier gran ciudad. Verá una muestra de la variedad externa que reina entre los seres humanos: tonos de piel lechosos y oscuros, texturas de pelo finas y lisas, gruesas y crespas. A partir de características físicas como éstas, del origen geográfico y de la cultura, las personas se agrupan en “razas”. Pero, ¿qué validez tiene, desde un punto de vista biológico, el concepto de raza? ¿Informan acerca de la constitución genética de un individuo las características físicas, más allá de indicarnos que posee genes determinantes de ojos azules o del pelo rizado?

Entre otras razones, el problema resulta complicado porque los criterios de pertenencia a una raza varían de una región a otra. Alguien deno-

minado “negro” en EE.UU., por ejemplo, podría ser considerado “blanco” en Brasil y “coloreado” (una categoría distinta de “negro” y “blanco”) en Sudáfrica.

Sin embargo, las definiciones ordinarias de las razas generan en ocasiones grupos que se corresponden bastante bien con propensiones genéticas a sufrir ciertas enfermedades. La anemia falciforme, por ejemplo, se da sobre todo en personas de ascendencia mediterránea o africana, mientras que la fibrosis quística abunda bastante más entre las de ascendencia europea. Según varios estudios —cuyos resultados no están exentos, en absoluto, de controversia—, los negros norteamericanos responden peor que otros grupos a determinados fármacos indicados en cardiopatías.





ILUSTRACIONES FOTOGRAFICAS DE NANCY BURSON

En los últimos años se han acumulado datos sobre la constitución genética de poblaciones de todo el mundo, con la mira puesta en la posible relación entre la herencia y las pautas de alguna enfermedad. Estos datos aportan respuestas a diversas cuestiones, muy sensibles y delicadas. Así ¿podemos apelar a la información genética para separar grupos humanos que comparten una herencia común y asignar individuos concretos a uno u otro grupo? ¿Se corresponden tales grupos con las descripciones habituales de las razas? Desde un punto de vista práctico, las divisiones, se basen en las definiciones raciales ordinarias o en el parecido genético, ¿nos enseñan algo útil acerca de cómo afectan las enfermedades o los fármacos a los miembros de cada grupo?

En general, cabría contestar de manera afirmativa a la primera cuestión, negativa a la pregunta segunda y con un sí matizado a la tercera. Para ello nos basamos en algunas generalizaciones sobre raza y genética. Hay grupos que difieren de otros en su contenido génico, pero la división en grupos depende de los genes que se examinen. Dicho de manera simplista: uno puede quedar incluido en un grupo conforme a los genes responsables del color de la piel y en otro si atendemos a una característica distinta. Muchos estudios han demostrado que alrededor del 90% de la variabilidad genética humana ocurre en el seno de una población que vive en un determinado continente; sólo en torno al 10% de la variabilidad distingue a las poblaciones de continentes diferentes. En otras palabras,

los individuos de poblaciones diversas son, en promedio, sólo un poco más diferentes que los individuos de una misma población. Las poblaciones humanas guardan una estrecha semejanza, si bien pueden distinguirse.

## Clasificación de los seres humanos

Como primer paso para unir las definiciones sociales de raza y de herencia genética, se necesita una forma fiable de dividir grupos de acuerdo con su linaje. Durante los últimos 100.000 años, los hombres anatómicamente modernos emigraron desde Africa hacia todas las partes del mundo e incrementaron muchísimo su número. Esta expansión ha dejado una clara huella en nuestro ADN.

Para determinar el grado de parentesco entre grupos, los genéticos se basan en polimorfismos del ADN; en particular, los relativos a las secuencias de pares de bases que componen los bloques de ADN. La mayoría de estos polimorfismos no aparecen en los genes, segmentos de ADN que codifican la información para la síntesis de proteínas (las moléculas que constituyen gran parte de nuestro organismo y mantienen las reacciones químicas de la vida). Se trata, pues, de variaciones neutras, en el sentido de que no afectan directamente a ningún rasgo particular. No obstante, sí hay algunos polimorfismos en los genes; pueden contribuir a la variabilidad de rasgos y de enfermedades genéticas de un individuo a otro.

## Los autores

MICHAEL J. BAMSHAD Y STEVE E. OLSON han llegado a la variabilidad genética humana desde lados distintos. Bamshad es genético de la facultad de medicina de la Universidad de Utah; Olson, escritor científico.

Al secuenciarse el genoma humano (todo el ADN nuclear), se han identificado millones de polimorfismos, cuya distribución en las poblaciones refleja la historia de éstas y los efectos de la selección natural. Para distinguir entre grupos, el polimorfismo genético ideal sería uno que estuviera presente en todos los miembros de un grupo y ausente en los miembros de los grupos restantes. Pero los principales grupos humanos se han separado entre sí muy recientemente, para mezclarse luego en alto grado. No existen, pues, grandes diferencias entre ellos.

Con todo, las diferentes frecuencias con que aparecen los polimorfismos por el mundo sirven para clasificar a las personas, de manera aproximada, en grupos. Un polimorfismo útil lo constituye el *Alu*, cortos segmentos de ADN de secuencia afín. De cuando en cuando los *Alu* se replican; las copias resultantes se reparten al azar en una nueva posición, dentro del cromosoma original o en otro cromosoma; por lo normal, en una parte donde no afecten al funcionamiento de los genes. Cada inserción constituye un episodio único. En cuanto la secuencia *Alu* se ha insertado en un lugar, puede permanecer ahí durante miríadas de años; se hereda en ese sitio de padres a hijos. Por tanto, si dos personas presentan la misma secuencia *Alu* en un mismo punto del genoma, se deduce que tienen un antepasado común, que les donó ese segmento específico de ADN.

Uno de los autores (Bamshad), con Lynn B. Jorde, Stephen Wooding y W. Scott Watkins, de la Universidad de Utah, y con Mark A. Batzer, de la Universidad de Louisiana, estudió 100 polimorfismos *Alu* diferentes en 565 personas nacidas en el Africa subsahariana, Asia y Europa. Empezamos por determinar la presencia o ausencia de los 100 *Alu*

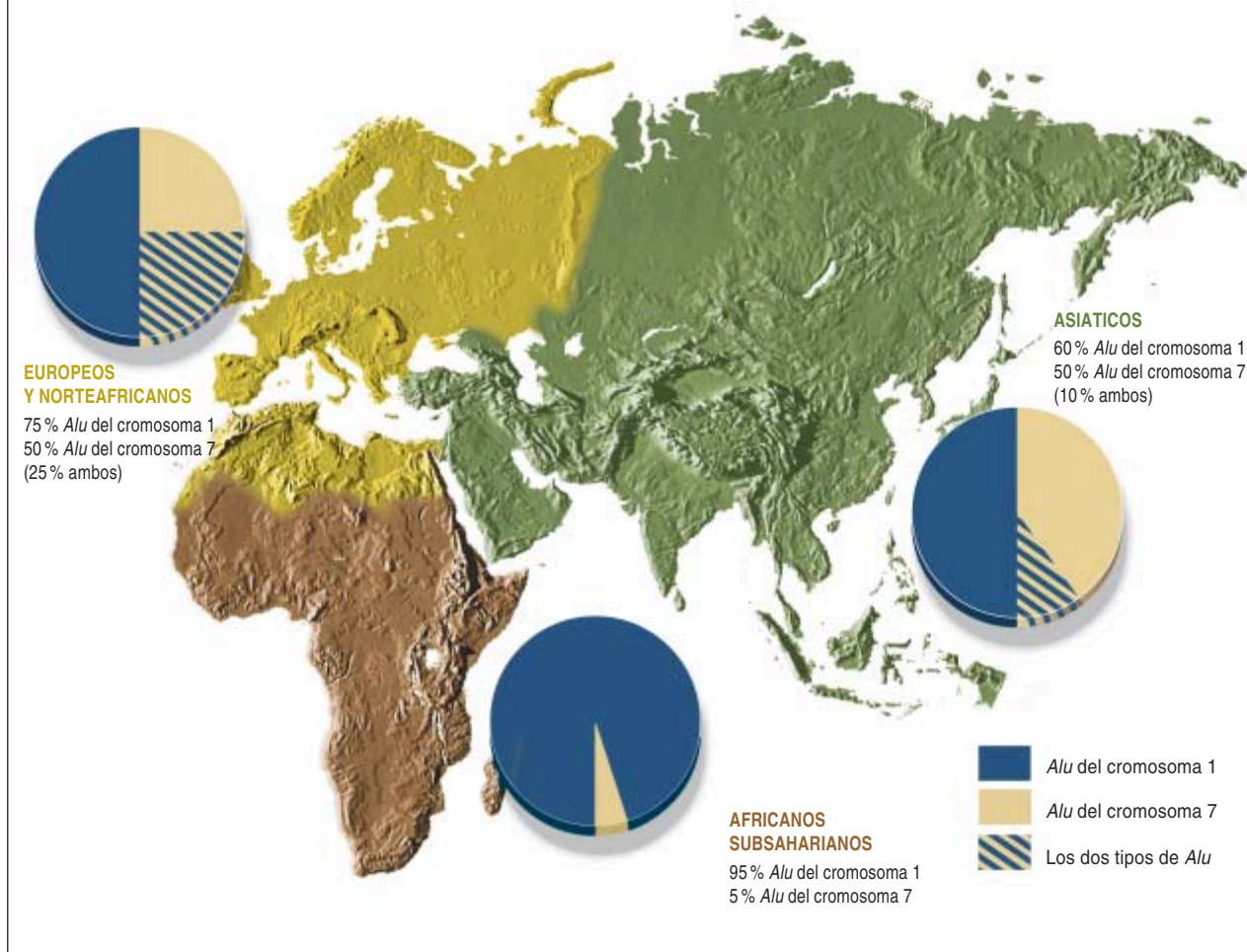
## Resumen/Genética de la "raza"

- Los signos externos en que se basan la mayoría de las definiciones de raza (el color de la piel, la textura del pelo) están determinados por unos pocos genes. Pero el resto del genoma de dos personas de la misma "raza" varía en sumo grado. A la inversa, la semejanza genética puede ser mayor entre dos personas de diferentes "razas" que entre un par de individuos de la misma "raza".
- Pese a ello, cabe recurrir a la genética para clasificar la mayoría de las poblaciones según su origen geográfico ancestral. Este enfoque no ofrece tan buenos resultados cuando las poblaciones actuales proceden de la mezcla reciente de diferentes grupos.
- Las implicaciones médicas de las diferencias genéticas raciales siguen siendo objeto de controversia.

# DIVERSIDAD GENÉTICA HUMANA

**SUELEN UTILIZARSE UNOS SEGMENTOS CORTOS** de ADN, los polimorfismos *Alu*, para determinar si varias poblaciones están emparentadas entre sí. Aunque carecen de función conocida, los *Alu* se copian e insertan de manera aleatoria por el genoma. Como los *Alu* que se insertan se mantienen invariables, sus patrones sirven de marcadores para estimar el grado de parentesco genético entre dos personas (y como promedio, dos poblaciones). En el cromosoma 1 se ha observado cierto polimorfismo *Alu* en el 95% de los africanos subsaharianos, el 75% de los europeos y

norteafricanos y el 60% de los asiáticos; mientras que alrededor del 5% de los subsaharianos, el 50% de los europeos y norteafricanos y el 50% de los asiáticos portan otro polimorfismo *Alu* diferente en el cromosoma 7. Algunos individuos tienen ambos. Por sí solo, ningún polimorfismo permite distinguir a todos los miembros de un grupo importante humano de todos los miembros de otro grupo; ahora bien, si se analizan cientos de polimorfismos, resulta posible agrupar individuos procedentes de distintas áreas geográficas a partir de sus perfiles genéticos.



en cada individuo. De los datos obtenidos, eliminamos luego las señales identificadoras (lugar de origen y grupo étnico), para clasificar a las personas en grupos de acuerdo con un solo criterio: la información genética.

Se crearon así cuatro grupos distintos. Cuando restituíamos las etiquetas de identificación para ver si la asignación de cada individuo a un grupo guardaba correlación con las designaciones habituales de raza o etnia, observamos que dos de los

grupos contaban sólo con individuos del África subsahariana; uno de ellos estaba constituido nada más que por pigmeos mbuti. El tercer grupo lo conformaban individuos procedentes de Europa; de Asia oriental, el cuarto. Resultó que necesitábamos 60 polimorfismos *Alu* para asignar, con un 90% de seguridad, a los individuos a su continente de origen; para alcanzar casi el 100% de seguridad, se requerían unos 100 *Alu*.

Se han obtenido resultados similares en otras investigaciones. Noah

A. Rosenberg y Jonathan K. Pritchard, por entonces en el laboratorio de Marcus W. Feldman, de la Universidad de Stanford, se valieron de unos 375 polimorfismos STR (“short tandem repeats”, “repeticiones seriadas cortas”) para abordar un millar largo de personas de 52 grupos étnicos de África, Asia, Europa y América. De acuerdo con la variación de sus frecuencias, distinguieron cinco grupos diferentes, cuyos antepasados quedaron separados por océanos, desiertos o mon-

tañas: subsaharianos, europeos y asiáticos del oeste de los Himalayas, asiáticos del este, habitantes de Nueva Guinea y Melanesia y, por fin, amerindios. Identificaron también subgrupos dentro de cada región; solían concordar con la etnia que se había asignado a sí misma cada individuo.

Estos estudios demuestran que los análisis genéticos pueden distinguir grupos de personas según su origen geográfico. Sin embargo, han de interpretarse con mucho cuidado. Los grupos que menos costaba singularizar eran los más separados geográficamente; presentaban la mayor variabilidad genética intergrupala. Cuando Bamshad y sus colaboradores utilizaron 100 polimorfismos *Alu* para encuadrar en un grupo propio a los individuos del sur de la India, vieron que mostraban mayor afinidad con los europeos o con los asiáticos. En otras palabras, los habitantes del subcontinente indio conformaban un grupo genuino, sino que se repartían por otros grupos.

Se debe a que la India ha conocido un flujo genético europeo y asiático. Por consiguiente, tenemos que barajar cientos (o quizá miles) de polimorfismos para distinguir entre grupos cuyos antepasados hayan procedido de muchas poblaciones.

## La raza humana

Cabe, pues, agrupar, en términos muy generales, a las personas gracias a los datos genéticos. Pero, ¿conducen las razas, conforme a su definición ordinaria, con agrupaciones genéticas? En algunos casos sí, pero frecuentemente no. Por ejemplo, el color de la piel o los rasgos faciales —caracteres influidos por la selección natural— se emplean de forma rutinaria para dividir a la humanidad en razas. Sin embargo, grupos a los que la selección natural ha dotado de características físicas similares pueden exhibir bastantes diferencias genéticas. Los individuos de la África sub-

sahariana y los aborígenes australianos tendrán una pigmentación de piel similar (por su adaptación a la fuerte insolación), pero divergen en su constitución genética.

En cambio, dos grupos genéticamente similares pueden hallarse expuestos a una presión de selección distinta. En este caso, la selección natural exagerará algunas diferencias entre los grupos, de manera que a simple vista parezcan más disímiles de lo que en realidad son. Puesto que el color de piel y otros rasgos vienen condicionados por la selección natural, no reflejan necesariamente los procesos poblacionales que han ido conformando la distribución de polimorfismos neutros (*Alu* o STR). Más aún, los rasgos o polimorfismos afectados por la selección natural tal vez sean malos indicadores de la pertenencia de un individuo a un grupo genético; quizá den a entender una relación de parentesco genético donde apenas existe.

Otro ejemplo de la dificultad que entraña cualquier clasificación de las personas nos lo ofrecen los estadounidenses. Allí, la mayoría de las personas que se consideran afroamericanas tienen unos antepasados bastante recientes en África occidental; los naturales de esa región exhiben en general unas frecuencias polimórficas que difieren de las de europeos, asiáticos y aborígenes norteamericanos. Sin embargo, la proporción de variación genética que comparten afroamericanos y africanos occidentales dista de ser uniforme, ya que durante siglos los afroamericanos se han mezclado con grupos originarios de otras partes de África y de fuera de África.

En los últimos años, Mark D. Shriver, de la Universidad estatal de Pennsylvania, y Rick A. Kittles, de la Universidad Howard, han definido un conjunto de polimorfismos para evaluar, con él, la fracción de los genes de un individuo originada en cada región del continente. Han encontrado que la contribución de los africanos occidentales al patrimonio genético de los afroamericanos es, en promedio, de un 80%, aunque oscila entre el 20% y el 100%. La mezcla de grupos queda clara también en muchos individuos cuyo linaje suponen ex-

## LAS ILUSTRACIONES

**DEBEMOS A NANCY BURSON**, artista neoyorquina, las fotografías alteradas que ilustran este artículo. Para su creación se ha servido de un dispositivo de su invención, al que llama "máquina de las razas humanas". La máquina toma una fotografía de un individuo (en este caso una mujer blanca) y añade o quita diversos rasgos externos de la identidad racial; se muestra así qué aspecto tendría si perteneciese a otra raza. Se propone así subrayar lo que de común tiene la humanidad. El aspecto externo dice poco de la constitución genética global de una persona. La máquina de las razas humanas fue una de las atracciones más populares del Domo del Milenio, en Londres.

