

EL CICLO VITAL DE LAS GALAXIAS • LA ESPERANZA EN UN VIAL

INVESTIGACION *y* CIENCIA

AGOSTO 2002
5 EURO

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

ESPINTRONICA

Rasgos geniales

**Un fuerte romano
en el desierto de Egipto**

**Los estrógenos
y el sistema vascular**



SECCIONES

3

HACE...

50, 100 y 150 años.

4

APUNTES

32

PERFILES

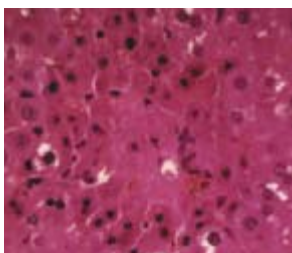
Linda A. Detwiler:
Contra las vacas locas.



34

CIENCIA Y SOCIEDAD

Complicaciones hepáticas...
Formación de imagen,
nuevos métodos de cálculo...
Evolución y desarrollo...
Polvo interestelar,
catálisis molecular.



40

DE CERCA

Cuando el mar
cambia su color.



50

Espintrónica

*David D. Awschalom,
Michael E. Flatté
y Nitin Samarth*

Unos dispositivos electrónicos
que se basan en el espín
del electrón quizá nos conduzcan
a los microchips cuánticos.



6



**El turbador comportamiento
de los orangutanes**

*Anne Nacey Maggioncalda
y Robert M. Sapolsky*

El estudio de estos grandes simios
muestra que algunos machos siguen
una estrategia evolutiva inesperada
e inquietante.

Vacunas contra el sida

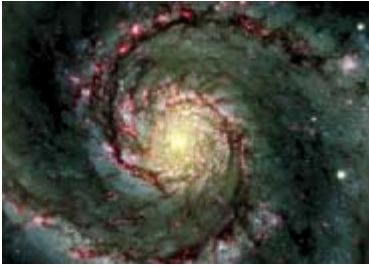
Carol Ezzell

Hay varias vacunas contra el sida que se hallan
en distinta fase de ensayos clínicos a gran escala,
pero su eficacia para combatir la enfermedad
constituye todavía una incógnita.



14

22



El ciclo vital de las galaxias

*Guinevere Kauffmann
y Frank van den Bosch*

Se está a punto de explicar la desconcertante variedad de las galaxias.

42

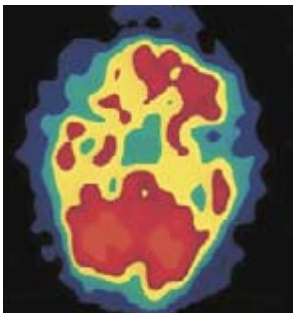
Un fuerte romano en el desierto de Egipto

Frédéric Colin

En el oasis de Bahariya, unos restos atestiguan la existencia de un fuerte romano del siglo III. La reconstrucción del texto de la “inauguración oficial”, grabado en piedra, ha arrojado luz sobre la política militar romana en Egipto.



58



Rasgos geniales

Darold A. Treffert y Gregory L. Wallace

La brillantez artística y la asombrosa memoria que en algunos casos acompañan al autismo y a otros trastornos ofrecen indicaciones de cómo funcionan todos los cerebros.

68

La complejidad del café

Ernesto Illy

Uno de los sencillos goces de la vida es en realidad muy complicado. Cientos de componentes definen su sabor y aroma.



75



Los estrógenos y el sistema vascular

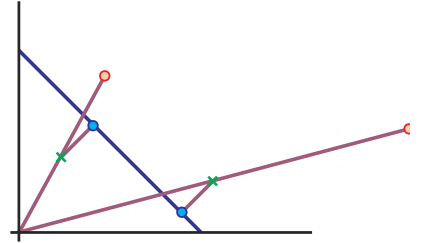
*Miguel A. Valverde, Francisco Muñoz
y Ramón Latorre*

La investigación de los efectos ejercidos por los estrógenos sobre el sistema vascular sugiere esperanzadoras aplicaciones para la prevención de ciertas enfermedades.

SECCIONES

84 JUEGOS MATEMÁTICOS

Repartir escasez,
por Juan M. R. Parrondo



86 IDEAS APLICADAS

Guiado giroscópico
por Mark Fischetti

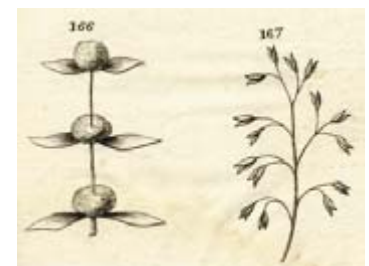
88 CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

Móvil perpetuo,
por Wolfgang Bürger



91 LIBROS

Naturaleza... Tierra comparada.



96 AVENTURAS PROBLEMÁTICAS

Tabúes de intimidad,
por Dennis E. Shasha

INVESTIGACION CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.^a Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez
PRODUCCIÓN M.^a 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.^a
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 Michelle Press
ASSISTANT MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
NEWS EDITOR Philip M. Yam
SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix
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, INTERNACIONAL
Charles McCullagh
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.^a
08021 Barcelona
Teléfono 934 143 344

PUBLICIDAD

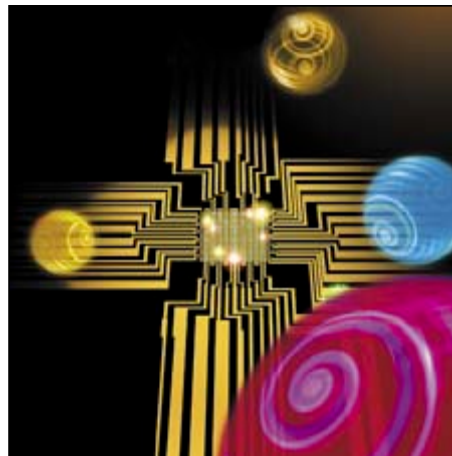
GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, semisót., centro, izda.
28009 Madrid
Tel. 914 097 045
Fax 914 097 046

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

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Joandomènec Ros: *El turbador comportamiento de los orangutanes*;
Esteban Santiago: *Vacunas contra el sida*; M.^a Rosa Zapatero: *El ciclo vital de las galaxias*; José M.^a Fullola: *Un fuerte romano en el desierto de Egipto*; Juan Pedro Adrados: *Espintrónica*; José Manuel García de la Mora: *Rasgos geniales*; Luis Bou: *La complejidad del café y Aventuras problemáticas*; Angel Garcimartín: *Perfiles*; J. Vilardell: *Hace..., Apuntes e Ideas aplicadas*; Jürgen Goicoechea: *Curiosidades de la física*



Portada: Slim Films

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	55,00 euro	100,00 euro
Extranjero	80,00 euro	150,00 euro

Ejemplares sueltos:

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

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

Difusión controlada

Copyright © 2002 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2002 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

Filmación y fotocromos reproducidos por Dos Digital, Zamora, 46-48, 6ª planta, 3ª puerta - 08005 Barcelona
Imprime Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

HACE...

...cincuenta años

AGRICULTURA QUÍMICA. «En marzo de 1951, el gobierno iraní solicitó a EE.UU. ayuda inmediata para una emergencia. A lo largo del golfo Pérsico se estaban formando enjambres de langostas a tal velocidad, que amenazaban con destruir la totalidad de las cosechas. EE.UU. envió aviones militares y diez toneladas de aldrina, insecticida con el que rociaron la zona. La operación aniquiló las langostas en una noche. Por vez primera en la historia, se atajó una plaga de langosta a escala nacional en sus mismos inicios. Este episodio ilustra la revolución que la química ha provocado en la agricultura. Gracias a la química agrícola, aún en su infancia, la productividad de los campos progresará al menos tanto como avanzó gracias a las máquinas en los últimos 150 años.» [Nota de la redacción: *La Convención de Estocolmo de las Naciones Unidas de 2001 prohibió la producción de aldrina y otros contaminantes orgánicos persistentes.*]

...cien años

MÁSCARAS DE LA COSTA DEL PACÍFICO. «Estas ilustraciones muestran unas curiosas máscaras de los indios de la tribu tghimpsean [tsimshian], de la costa del Pacífico de la Columbia Británica, a orillas del río Skeena. Fueron obtenidas por el reverendo doctor Colby, misionero metodista que ejerció entre ellos. Esto Falsos Rostros [sic] podrán verse ahora en el museo del Colegio Victoria, de Toronto.»

PESCA DE ESPONJAS. «Hace centenares de años que el comercio conoce las esponjas griegas y turcas. Las de más fina calidad quizá sean las sirias. Pero durante los últimos quince años la producción ha disminuido grandemente a causa de la introducción por los griegos, en el decenio de 1870, de un aparato de

buceo que se mostró ruinoso para pescadores y pesquerías. La 'escafandra' permite al buceador permanecer una hora bajo el agua. Es una pesada carga para los bancos de esponjas, pues con ella se recolecta todo lo que está a la vista, esponjas grandes y pequeñas, y la nueva cosecha tarda años en madurar.»

TIEMPOS MODERNOS. «Ya es un lugar común atribuir a las prisas y tensiones de la moderna vida ur-

bana la mitad de las enfermedades que afligen hoy al cuerpo. Sin embargo, los niños se enfrentan más fácilmente a las nuevas necesidades de la vida; nuevas circunstancias que asombraron e inquietaron a sus padres se convierten en hábitos llevaderos. Podemos así imaginar a futuras generaciones que guardarán una perfecta calma entre centenares de teléfonos y dormirán tranquilamente mientras sobre sus cabezas zumban aeronaves entre innumerables cables eléctricos y un perpetuo tráfico nocturno de vehículos de motor resuene al otro lado de las ventanas de sus dormitorios. Hasta ahora, hay que confesarlo con pesar, nuestros sistemas nerviosos no están tan encallecidos.»

...ciento cincuenta años

GUERRA NAVAL. «Las recientes experiencias de la armada francesa con el propulsor de hélice han disipado las dudas acerca de la superioridad que comporta reunir el vapor y las velas en los barcos de guerra. El viaje de pruebas del *Charlemagne*, que viajó hasta los Dardanelos con vuelta a Tolón, rebasó todas las expectativas. Un encontronazo entre barcos franceses y americanos, con los primeros empleando vapor y velas y los nuestros sólo velas, sería una lucha de lo más desigual. La ventaja sería toda para los franceses, pues podrían barrer a voluntad las cubiertas de su adversario y atacarlo por todos los costados.»

LOBOS TEMEROSOS. «Se dice que desde que se terminó el ferrocarril que atraviesa el norte de Indiana, los lobos procedentes del norte, cuyas manadas salvajes asolaban el sur, no han sido vistas allende la vía. Se supone que las bestias desconfían de ella, tomándola por una trampa, y no se aventuran en las cercanías de los carriles.»



Máscaras de los indios de la costa del Pacífico, 1902

APUNTES

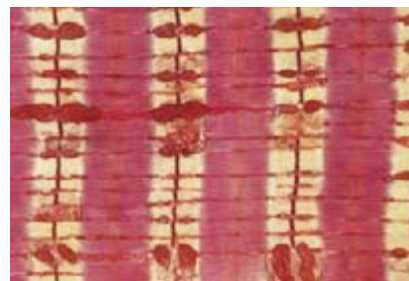
BIOLOGIA CELULAR

Mejorar sin esfuerzo

Las mitocondrias son las microscópicas centrales que abastecen de energía a toda actividad humana; cuantas más posee una célula, más vigorosa es. El ejercicio puede elevar su número. Ahora parece que cierta proteína desencadena el mismo efecto.

Unos investigadores del Hospital Clínico de la Universidad del Sudoeste de Texas, en Dallas, observaron los músculos de unos ratones sedentarios que se fatigaban en seguida. Descubrieron que una enzima, la CaMK, aumentaba en ellos los niveles de mitocondrias. Un fármaco que promoviese la creación de mitocondrias podría ayudar a los pacientes postrados en cama a disfrutar de los beneficios del ejercicio. El rendimiento físico de los seres humanos, conjeturan, mejoraría con una alteración de la actividad genética que aumentase la producción de esa proteína.

—Charles Choi



Las fibrillas musculares se vigorizan con más mitocondrias (manchas marrones sobre las estructuras verticales)

ASTRONOMIA

El sistema planetario de 55 Cancri

Los primeros planetas descubiertos en torno a otras estrellas tenían características singulares: su masa era del orden de la de Júpiter, giraban, sin embargo, muy cerca de su sol. Ahora podría haberse dado con uno que nos resultaría más familiar. Tras medir entre 1989 y 2002 los desplazamientos Doppler de los espectros de la componente principal del sistema binario 55 Cancri, una estrella muy rica en metales y no muy diferente en tamaño y edad del Sol, el grupo encabezado por G. Marcy y P. Butler ha llegado a la conclusión de que un planeta gigante gira a su alrededor a una distancia de 5,5 unidades astronómicas, con una excentricidad moderada. (Una unidad astronómica es la distancia media

entre la Tierra y el Sol.) Ocupa una posición parecida a la de Júpiter en el sistema solar; pesa, al menos, cuatro veces más. Nunca antes se había hallado un planeta que orbitara a esas distancias jovianas. Como ha aflorado en una muestra de 50 estrellas, no parece que se trate de un caso muy raro. A 0,11 unidades tiene 55 Cancri otro planeta gigante, el cuarto extrasolar que se conoció, descubierto ya por Butler, Marcy y sus colaboradores en 1996; es posible que haya un tercero, a 0,24 unidades. Este sistema es compatible con la presencia de un cuarto cuerpo, rocoso, del tamaño de la Tierra, que girase establemente a una distancia de 55 Cancri como la que media entre nosotros y el Sol.

EVOLUCION HUMANA

Alimentos y pensamiento

La gordura de los recién nacidos nos hace únicos entre los mamíferos terrestres. Hay una buena razón para esas rechoncheces: cuando nacemos, el cerebro humano (que llega a un tamaño mucho mayor que el del chimpancé, nuestro pariente más próximo) demanda más del 60 por ciento del consumo energético corporal; las reservas de grasa son, pues, vitales para las épocas de escasez. Curiosamente, a los 50 días los fetos de los chimpancés y de otros primates tienen unos cerebros del mismo tamaño que los de los fetos humanos. Parecen, pues, poseer un potencial embrionario de amplio desarrollo cerebral comparable. Pero ¿por qué sólo los seres humanos aprovechan esa posibilidad? En algún punto de la evolución humana debió de haber mutaciones genéticas que promovieron la abundancia de grasa fetal necesaria para la expansión del cerebro, expuso Stephen Cunnane, de la Universidad de Toronto, en la reciente Conferencia Anual de la Asociación Americana de Antropología Física. Pero, comentó también, para aprovechar tales mutaciones nuestros ancestros necesitaron una dieta de gran calidad y una forma de vida lo bastante sedentaria como para facilitar que se acumulase la grasa.

De ordinario se cree que la primitiva evolución humana tuvo lugar en la sabana y en zonas boscosas. Sin embargo, aduce Cunnane, sólo los entornos costeros habrían brindado con suficiente seguridad unos recursos abundantes a unos hambrientos homínidos que no podían todavía cazar. En asentamientos así habrían tenido fácilmente a su disposición presas acuáticas ricas no sólo en calorías, sino también en yodo, ácidos grasos omega y otros nutrientes esenciales para el desarrollo del cerebro. El respaldo arqueológico de esta hipótesis resulta por ahora insuficiente.

—Kate Wong



En la costa se acumulan calorías en abundancia

BOTANICA

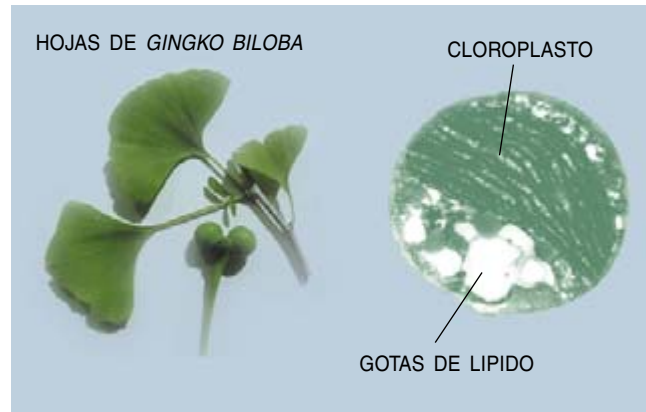
El alga del ginkgo

La especie *Ginkgo biloba* es el único superviviente del Orden de las *ginkgoales*, que tuvo su apogeo a finales del Jurásico y principios del Cretácico, hará unos 150 o 200 millones de años. Este fósil viviente es un árbol contemporáneo de los dinosaurios. Sus hojas bilobuladas están dispuestas en forma de abanico, vestigio de su lejano pasado. Resiste a los insectos, a la contaminación atmosférica e incluso a la radiación: uno sobrevivió a la destrucción nuclear de Hiroshima. Alcanza edades extraordinarias: el más viejo, que se encuentra en el templo Dinlisi, en la provincia china de Shandong, tiene 3000 años. Ahora, Jocelyne Trémouillaux-Guiller, de la Universidad François Rabelais de Tours, ha descubierto que un alga unicelular vive en las células del ginkgo. Es la primera vez que se encuentra un alga en las células de un vegetal superior.

Se la descubrió primero en células cultivadas del *ginkgo*. Mide de tres a cinco micras y es eucariota. Prolifera en las células que necrosan: al multiplicarse, las infla hasta reventarlas; las nuevas algas quedan entonces liberadas en el medio exterior.

Más tarde, se detectó el endosimbionte en células vivas de *Ginkgo biloba*. Reside permanentemente en ellas, parece que en una forma inmadura, sin actividad fotosintética. No está presente en todos los árboles, ni en todas sus partes, ni en todos los tipos celulares.

Por último se identificó el alga gracias a su ARN ribosómico. Pertenece a la clase de las *Trebuxiofitas*. Guarda una estrecha relación con *Coccomyxa*, alga unicelular componente de ciertos líquenes.



El citoplasma del alga que reside en las células del *Ginkgo biloba* contiene un cloroplasto voluminoso y muchas gotas de lípido

ECOLOGIA

Ranas y platelmintos

Puede que la investigación haya acertado con dos de los factores que contribuyen a la disminución de la población mundial de ranas. Pieter T. J. Johnson, de la Universidad de Wisconsin-Madison, Andrew R. Blaustein, de la Universidad estatal de Oregón, y sus colaboradores han observado que la frecuencia y la severidad de las deformaciones comunes entre las ranas de algunas partes del oeste de Estados Unidos dependen únicamente de la presencia del platelminto parásito *Ribeiroia ondatrae*. Sus portadores son los caracoles acuáticos, cuyo número, según los investigadores, quizás esté multiplicándose a causa de los nutrientes que arrastra la escorrentía, entre otras razones. Por si eso fuera poco, cuando unos biólogos de la Universidad de California en Berkeley bañaron renacuajos macho en el fertilizante atrazina, los batracios tendieron a desarrollar órganos sexuales femeninos en los testículos; sus órganos vocales, además, eran más pequeños. Podría ello deberse a que la atrazina convierte la testosterona en estrógeno, si bien sus efectos en la reproducción aún no están claros.

—J. R. Minkel

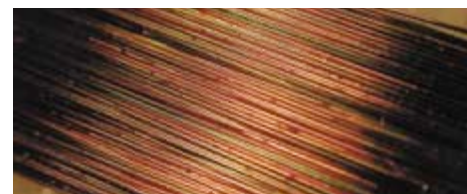


¿Son los platelmintos responsables de deformidades de las ranas?

FOTONICA


Bellos hilos

Algún día, la vestimenta no se limitará a reflejar nuestra personalidad. Expertos en ciencia de los materiales, adscritos al Instituto de Tecnología de Massachusetts, han construido hilos de polímero recubiertos con espejos. Para ello depositaron una sustancia vítrea, el triseleniuro de arsénico, sobre un polímero, que luego enrollaron, creando así una estructura estratificada de cristal fotónico. Estirados, los rollos se convierten en largos hilos de unas pocas centenas de micras de grueso, reflectoras como el oro. Estas fibras son algo más que lentejuelas. Sus cualidades reflectoras se ajustan variando el diámetro del hilo. Debidamente estiradas y tejidas, podrían confeccionarse con ellas trajes antirradiación, etiquetas ópticas de códigos de barras y filtros flexibles para telecomunicaciones.



Los hilos de cristal fotónico tienen un grosor de 0,2 mm


—Philip Yam



El turbador comportamiento de los orangutanes

Anne Nacey Maggioncalda y Robert M. Sapolsky

El orangután, *Pongo pygmaeus*, uno de los cuatro grandes simios (con el gorila, el chimpancé y el bonobo), es un pariente cercano del ser humano. Su adaptación a la vida en la bóveda arbórea de las islas sudasiáticas de Borneo y Sumatra (ningún otro gran simio reside fuera de Africa) es perfecta. Con sus grandes brazos y manos como garfios se balancea de un árbol a otro en busca de frutos tropicales. Sorprende la diferencia de tamaño entre machos y hembras: el peso medio de un macho adulto, alrededor de 90 kilogramos, dobla con creces el de la hembra. No hay gran primate más solitario.



**El estudio de estos grandes simios
muestra que algunos machos
siguen una estrategia evolutiva
inesperada e inquietante**

1. ORANGUTAN significa “hombre del bosque” en el idioma malayo. Estos grandes simios comen, moran, se socializan y aparean en el dosel arbóreo de la jungla.

Impresiona un macho adulto de orangután. Posee un par de amplias almohadillas, o rebordes, en las mejillas y un saco gular bien desarrollado con el que emite fuertes gritos, o “llamadas largas”. El pelo que le cubre cuerpo y cara es largo y de color brillante. Estos rasgos son caracteres sexuales secundarios, llamativas señales que los orangutanes macho ostentan para proclamar su fertilidad y sus buenas condiciones físicas ante el sexo opuesto. Se les desarrollan en la adolescencia. Los machos alcanzan la pubertad entre los siete y nueve años de edad. Después pasan unos cuantos años en un estadio “subadulto”, durante el cual su aspecto dista de ser imponente y no son mayores que una hembra madura. Los machos alcanzan el tamaño adulto y exhiben los rasgos sexuales secundarios hacia los 12 o 14 años de edad. O, al menos, esto es lo que se pensaba.

A medida que se fueron estableciendo en los zoológicos grupos sociales permanentes de orangutanes, quedó claro que un macho adolescente podía permanecer como subadulto, en un estado de desarrollo interrumpido, hasta cerca de los veinte años. En la década de 1970, la observación de los orangutanes de las pluviselvas del sudeste asiático por Biruté M. F. Galdikas, de la Universidad Simon Fraser, de la Columbia Británica, y otros arrojó el mismo resultado: a veces, los machos se quedaban en adolescentes de desarrollo interrumpido durante una década o más, alrededor de la mitad de su vida reproductora. Fascina una variabilidad de esta magnitud; es como encontrar una especie en la que el embarazo durara entre seis meses y cinco años.

Los biólogos se interesan en los casos de desarrollo interrumpido porque iluminan los procesos de crecimiento y maduración. La causa es en ocasiones un trastorno genético (por ejemplo, una mutación en el receptor de un factor de crecimiento causa en los seres humanos una forma de enanismo). Los factores ambientales también pueden frenar o detener el desarrollo de un organismo. La escasez de alimento retarda la maduración de los seres humanos y de muchos otros animales; se trata de una reacción lógica desde un punto de vista evolutivo: si no está claro si se va a sobrevivir otra semana, no tiene sentido malgastar calorías añadiendo masa ósea o desarrollando caracteres sexuales secundarios. La anorexia o los ejercicios intensísimos de gimnastas y bailarinas retrasan en ocasiones la pubertad.

Sin embargo, entre los orangutanes macho parece que la causa del desarrollo interrumpido reside en el ambiente social del animal. La presencia de machos adultos dominantes retrasa la maduración de los adolescentes que viven en el mismo entorno que ellos. Hasta hace poco, se creía que se trataba de una patología inducida por el estrés; es decir, que los orangutanes adolescentes dejaban de desarrollarse porque los machos adultos los amedrentaban. Pero en los últimos años, nuestros estudios apuntan que el desarrollo interrumpido entre los orangutanes no es una patología, sino una estrategia evolutiva adaptativa. Los machos adolescentes de desarrollo interrumpido pueden preñar a las hembras; al permanecer pequeños e inmaduros (en



2. CIENTOS DE MILES de orangutanes recorrían el sudeste asiático hará unos 10.000 años, pero en la actualidad sólo se los encuentra en algunas partes de Borneo y Sumatra. Su número se ha reducido a menos de 20.000. Dada la velocidad a la que hoy se los caza y destruye su hábitat, se calcula que en un par de decenios ya no los habrá en estado salvaje.

lo que se refiere a los caracteres sexuales secundarios) minimizan la cantidad de comida que necesitan y reducen el riesgo de conflicto grave con los machos adultos. Pero hay en la estrategia de estos adolescentes de desarrollo interrumpido un aspecto turbador: fuerzan a las hembras a copular con ellos. En otras palabras, las violan.

Medición del estrés

Se observaron primero grupos de orangutanes cautivos. Terry L. Maple, de Zoo Atlanta, y otros biólogos que trabajaban en parques zoológicos vieron que el desarrollo de los machos adolescentes permanecía detenido si había un macho maduro en su instalación. Si se trasladaba a este macho dominante, los adolescentes empezaban enseguida a desarrollarse. Este tipo de regulación social se había observado ya en otras especies. Entre los mandriles, por ejemplo, los machos socialmente dominantes desarrollan caracteres sexuales secundarios espectaculares —unos testículos de mayor tamaño, niveles de testosterona elevados—; los subordinados no experimentan esos cambios. En las musarañas arborícolas y en muchas especies de roedores, a los subordinados se les retrasa la pubertad. La caza furtiva de elefantes ha dejado recientemente

en determinadas zonas de Africa machos huérfanos que crecen sin apenas socialización. Cuando se hallan en el frenesí del celo, se vuelven muy agresivos y peligrosos. Algunos zoólogos han sugerido una solución efectiva: introducir machos mayores, dominantes, en la región, porque su presencia suprime el frenesí de los solitarios.

En todos estos casos, los investigadores están por lo general de acuerdo en que el estrés de la subordinación explica la interrupción del desarrollo. Durante un momento de estrés (una carrera, digamos, a través de la sabana para huir de un depredador), el mamífero moviliza la energía para impulsar los músculos e inhibe diversos proyectos de construcción a largo plazo del cuerpo, entre ellos el crecimiento, la reparación de tejidos y las funciones reproductoras. Es la lógica de la prioridad: durante la emergencia al animal sólo le importa sobrevivir; después, si es que hay un después, reanudará las tareas del largo plazo. Pero cuando un animal experimenta un estrés crónico, como el causado por la subordinación social, priorizar puede tener consecuencias adversas: que disminuya el crecimiento, se rebaje el nivel de hormonas sexuales, se reduzca la fertilidad y se retrase la pubertad. El estrés psicológico severo y prolongado llega incluso a detener el crecimiento de los niños que padecen el raro síndrome del enanismo psicogénico.

A primera vista, también parece que los orangutanes macho adolescentes se hallan sometidos a un estrés crónico. Los machos adultos son sumamente agresivos con los adolescentes, sobre todo en el espacio limitado de un zoológico. En la naturaleza, los machos se hallan dispersos y solitarios; defienden con vigor un territorio grande, que abarca los territorios de varias hembras, una especie de harén disperso. Pero hasta en la naturaleza son los adolescentes bien conscientes de la amenazadora presencia de un macho maduro. Una de las señales que la revela es un olor al-

Los autores

ANNE NACEY MAGGIONCALDA y ROBERT M. SApOLSKY estudian desde hace más de diez años la evolución de las estrategias reproductivas de los orangutanes macho. Maggioncalda, doctora en antropología biológica y anatomía por la Universidad de Duke en 1995, es profesora del departamento de ciencias antropológicas y del programa de biología humana de la Universidad de Stanford, así como del departamento de anatomía de la facultad de medicina de esa misma universidad. Sapolsky, que obtuvo su doctorado en neuroendocrinología por la Universidad Rockefeller en 1984, es profesor de ciencias biológicas y neurología en Stanford e investigador asociado de los Museos Nacionales de Kenya. Investiga la muerte neuronal, la terapia génica y la fisiología de primates.

mizcleño que los machos adultos esparcen por todo su territorio; anuncian además su presencia las llamadas largas. John C. Mitani, de la Universidad de Michigan, ha comprobado que estos gritos resonantes se oyen a kilómetros de distancia.

Sin embargo, no había habido mucho empeño en verificar si el estrés de hallarse cerca de un macho dominante inducía o no cambios hormonales que detuviesen el desarrollo de los adolescentes. Desde 1989 buscamos una manera de examinar las hormonas de los orangutanes adolescentes con el desarrollo interrumpido; nos proponíamos así determinar si se hallaban de verdad bajo un estrés crónico. Lo ideal habría sido medir los niveles de las hormonas pertinentes en la sangre de los orangutanes, pero era imposible, por razones éticas y prácticas, así que sacamos partido de que el nivel medio en la sangre de varias hormonas se refleja de forma aproximada en la orina. Obtener orina de animales salvajes habría sido difícilísimo, de modo que estudiamos poblaciones cautivas. Gracias a la generosa ayuda de cuidadores, conservadores y veteri-



3. LOS CARACTERES SEXUALES SECUNDARIOS distinguen al macho adulto (*izquierda*) del macho adolescente de desarrollo interrumpido (*centro*) y de la hembra adulta (*derecha*). Quizá los más llamativos sean las amplias almohadillas de las mejillas

del macho adulto, o "rebordes", y el saco gular muy desarrollado con el que emiten fuertes gritos, las "llamadas largas". El peso medio de los machos adultos dobla con creces el de los machos de desarrollo interrumpido y las hembras adultas.

narios de 13 zoológicos, obtuvimos más de 1000 muestras de orina de 28 orangutanes macho, junto con información sobre su nivel de desarrollo (juvenil, adolescente interrumpido, adolescente en desarrollo o adulto), alojamiento, dieta, historial clínico y crecimiento. En colaboración con Nancy Czekala, del Centro para la Reproducción de Especies en Peligro, del Zoo de San Diego, medimos los niveles de nueve hormonas y comparamos animales en diferentes estadios de desarrollo.

En primer lugar nos centramos en la hormona del crecimiento, que es crucial para la maduración normal. En los juveniles, los adolescentes con el desarrollo interrumpido y los adultos, los niveles de hormona del crecimiento en orina eran bajos y muy similares, con variaciones del orden del 15 por ciento sólo. Los machos adolescentes que maduraban tenían, en cambio, niveles hormonales unas tres veces más elevados. Este resultado servía como control interno; demostraba que la estimación externa del estadio de desarrollo de un animal se ajustaba bien al perfil hormonal relacionado con el crecimiento. En otras palabras, los machos adolescentes que maduraban a ojos vista (crecían, se les agrandaban los rebordes de las mejillas, etc.) experimentaban asimismo cambios hormonales.

Después tomamos en cuenta las hormonas que responden al estrés. La más conocida es la adrenalina (llamada asimismo epinefrina); desempeña un papel fundamental en la movilización de energía. Por desgracia, no se la puede medir con precisión en la orina. Pero sí podíamos determinar los niveles de otra clase de hormonas clave del estrés, los glucocorticoides, supresores del crecimiento, la reparación de tejidos y la reproducción. Además, medimos los niveles de prolactina, una hormona indicadora de estrés que inhibe la reproducción.

Aquí es donde nos llevamos una sorpresa. Los niveles de glucocorticoides no diferían entre los juveniles, los adolescentes de desarrollo interrumpido y los adultos. Tampoco los niveles de prolactina. Pero los niveles de glucocorticoides y de prolactina de los adolescentes que se encontraban en plena maduración doblaban, más o menos, los de los demás grupos. No eran los adolescentes con desarrollo interrumpido los que parecían hallarse estresados, sino los que maduraban.

Otra sorpresa llegó cuando examinamos las hormonas reproductoras. Como era de esperar, los perfiles hormonales de los machos adolescentes que desarrollaban caracteres sexuales secundarios indicaban un sistema gonadal activo. Los machos en desarrollo poseían niveles de testosterona y de hormona luteinizante (que estimula la liberación de testosterona) más elevados que los adolescentes con el desarrollo interrumpido. En éstos eran como los de los adultos; tampoco sus niveles de la hormona estimuladora del folículo (FSH), que promueve la maduración de los espermatozoides en los machos, diferían de los hallados en los adolescentes en desarrollo o los machos adultos; otros investigadores han encontrado además que su espermatozoides es funcional y maduro y que sus tes-

tículos tienen el mismo tamaño que los de los adolescentes en desarrollo.

Estrategias evolutivas

Estos descubrimientos trastornaron algunas viejas hipótesis acerca de los orangutanes. No parecía que los adolescentes de desarrollo interrumpido estuviesen estresados o reprimidos desde el punto de vista reproductor. El quid está en que un orangután macho puede mejorar sus probabilidades de reproducirse de más de una manera.

Una piedra angular de la moderna teoría de la evolución es que el comportamiento animal no ha evolucionado por el bien de la especie o del grupo social, sino para maximizar el número de copias de genes que un individuo y sus parientes cercanos transmiten. Durante mucho tiempo dominaron el estudio de los primates modelos simplistas de cómo los animales consiguen este objetivo: el comportamiento del macho, decían, apenas si consiste en otra cosa que en agresiones y competencia para ganarse el acceso a las hembras. Si sólo hay una hembra sexualmente receptiva en un grupo con muchos machos, la competencia hará que el macho que más arriba esté en la jerarquía sea el que se aparee con la hembra; si hay dos hembras receptivas, los machos situados en el primer y se-



gundo lugar de la jerarquía se aparearán con ellas, y así sucesivamente.

Pero en los primates sociales este tipo de comportamiento se ve rara vez. Los primates macho eligen diferentes estrategias para maximizar su éxito reproductor. ¿Por qué hay diferentes opciones? Porque la estrategia que más lógica parece (desarrollar músculos potentes y caracteres sexuales secundarios espectaculares para ganar en la competencia entre macho y macho) tiene algunos inconvenientes graves. En muchas especies, mantener estos caracteres secundarios requiere elevados niveles de testosterona que perjudi-