

EVOLUCION MOLECULAR DIRIGIDA

# INVESTIGACION *y* CIENCIA

NOVIEMBRE 2003  
5,50 EURO

Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**

## MANIPULACION CEREBRAL



**REGENERACION CEREBRAL**  
**FARMACOS POTENCIADORES**  
**ESTIMULACION DEL CEREBRO**  
**TECNICAS DE OBSERVACION**  
**ENFERMEDADES MENTALES**  
**ASPECTOS ETICOS**



3

## HACE...

50, 100 y 150 años.

4

## APUNTES

Gaseosa Vostok...

Alucinante...

Un cuarto de hidrógeno...

La forma del universo...

El virus del Nilo.

30

## CIENCIA Y SOCIEDAD

Altruismo,

¿se cumple la regla de Hamilton?...

La fuerza de Coriolis,  
realidad y fantasía...

Neurofibromatosis tipo 1...

Colorido y coprofagia,  
el alimoche.



36

## DE CERCA

Simbiosis extremas.



6

## Plasticidad cerebral

*Marguerite Holloway*

Al parecer, ciertos ejercicios mentales y físicos pueden mejorar el cerebro de forma insospechada. Un punto a favor del viejo aforismo de resabios lamarckistas según el cual lo que no se usa, se pierde.

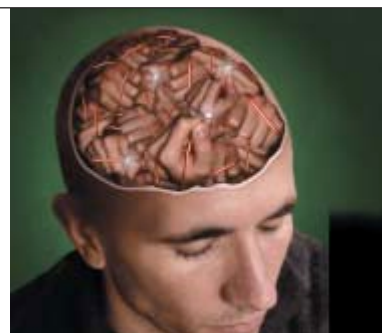


14

## Regeneración cerebral

*Fred H. Gage*

¿Cómo puede repararse un cerebro dañado? La solución quizá se halle en el propio cerebro.



22



## Fármacos potenciadores del cerebro

*Stephen S. Hall*

Se hallan en estudio nuevos fármacos para mejorar la memoria y otras facultades superiores. Pero su posible aplicación a las personas sanas ha despertado ya un enconado debate.

38

## Estimulación cerebral

*Mark S. George*

La activación de los circuitos cerebrales mediante impulsos de campo magnético puede suavizar las depresiones, avivar las facultades cognitivas e incluso combatir la fatiga.



46

## Técnicas de observación cerebral

*Philip Ross*

Equipos de escáner cerebral podrían dentro de poco discernir pensamientos rudimentarios y discriminar entre hechos y ficciones.

50



## Diagnóstico de las enfermedades mentales

*Steven E. Hyman*

El diagnóstico de las enfermedades psiquiátricas, a menudo difícil, podría encontrar en el test genético y en la técnica de formación de imágenes dos valiosas herramientas auxiliares.

58

## Ética de la manipulación cerebral

*Arthur L. Caplan*

¿Hasta qué punto se puede intervenir en el cerebro para reforzar sus funciones?



60

## El control del estrés

*Robert Sapolsky*

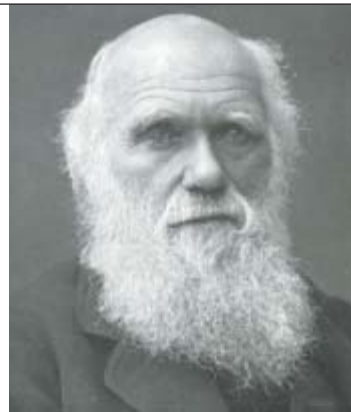
Los nuevos conocimientos acerca de las vías neuroquímicas asociadas al estrés cerebral marcan el camino hacia nuevos tratamientos de la ansiedad y la depresión.

69

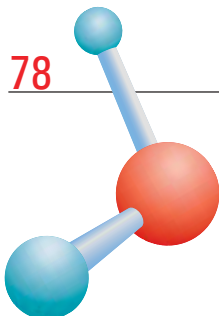
## Evolución molecular dirigida

*Miguel Alcalde*

Al recrear en el laboratorio los procesos claves de la evolución —mutación, recombinación y selección—, se están preparando moléculas de nuevo cuño. Se condensan en meses o semanas los millones de años en que se mueve la escala temporal de la evolución.



78



## Agua en el cosmos

*Luis F. Rodríguez y Yolanda Gómez*

No sólo hay agua en la Tierra o en Marte. Molécula abundante en el universo, de sus emisiones se valen los astrónomos para estudiar diversos objetos en el espacio.

84

## CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

Trampas para el agua,  
por J. M. Courty y E. Kierlik



86

## JUEGOS MATEMÁTICOS

Zenón y los camellos,  
por Juan M.R. Parrondo

88

## IDEAS APLICADAS

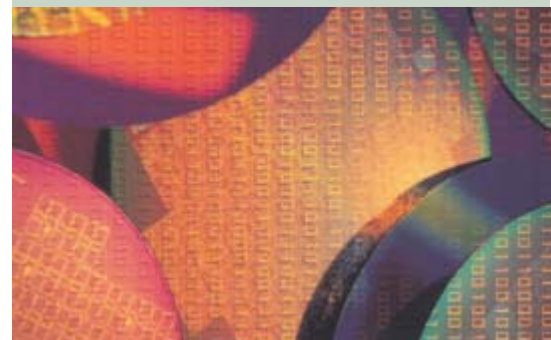
Validadoras de billetes,  
por Mark Fischetti



90

## LIBROS

El silicio  
y sus orfebres...  
Bioarqueología de América



96

## AVENTURAS PROBLEMÁTICAS

Excursionista perdido,  
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:

Luis Bou: *Plasticidad cerebral, Técnicas de observación cerebral y Aventuras problemáticas*; Carlos Lorenzo: *Regeneración cerebral*; Esteban Santiago: *Fármacos potenciadores del cerebro*; José Manuel García de la Mora: *Diagnóstico de las enfermedades mentales y Ética de la manipulación cerebral*; J. Vilardell: *Hace..., Apuntes, Curiosidades de la física e Ideas aplicadas*



Portada: Tom Draper Design

## 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 © 2003 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

**APRENDIZAJE INFANTIL.** «Resulta interesante estudiar el modo en que los niños aprenden a medir espontáneamente. El doctor Bärbel Inhelder, uno de mis colaboradores, y yo hemos hecho el experimento siguiente: le mostramos a un niño una torre de bloques colocada sobre una mesa y le pedimos que construyera una segunda torre de la misma altura sobre otra mesa (más baja o más alta que la primera) con bloques de un tamaño distinto. El niño empieza mirando en derredor en busca de un patrón de medida. Llama la atención que el primer útil que se le ocurre es su propio cuerpo. Coloca una mano en la cima de la torre y la otra en la base, y tratando de conservar la distancia entre ambas manos se traslada a la otra torre para compararla. Los niños de unos seis años suelen realizar esa operación muy seguros, como si sus manos no cambiaran de posición en el traslado. —Jean Piaget»

**POTENCIA COMPACTA.** «La turbina de gas, hoy generalmente conocida como motor de chorro, aparecida hace apenas una docena de años, ha progresado con enorme celeridad no sólo en la aviación, sino también en otros campos. Hacia 1965, si no antes, será sin duda alguna el motor de nuestra era. Lo más probable es que transforme por completo el transporte de superficie y revolucione las instalaciones generadoras de energía. Ciertamente, la turbina de gas es la planta motriz más versátil hasta ahora construida por el hombre. Los dos grandes constructores estadounidenses de turbinas de vapor, General Electric y Westinghouse, pusieron a la vez en explotación sus primeros turbogeneradores fijos en 1949 y ya hay 20 en EE.UU.»

## ...cien años

**REVOLUCIÓN EN LA IMPRENTA.** «Hace unos diez años se inició la manufactura del aluminio en volumen suficiente para que resulte comercialmente útil. No tardó en descubrirse que a este liviano y blanco metal se le podía hacer apto para la impresión, como si fuera piedra litográfica. Mientras la piedra fue el único material para imprimir en superficies, sólo podíamos disponer de un tipo de impresora, la máquina plana. Pero a una placa metálica se la puede doblar en forma de cilindro. En una prensa

rotativa las hojas de papel pasan entre dos cilindros con tanta facilidad como las prendas en una escurridora de lavandería, duplicando el número de impresiones de las lentas impresoras planas. Ello supuso desde luego una revolución en los establecimientos litográficos, hasta que algunos de los talleres más grandes hacen ahora el 90 por ciento del trabajo en prensas rotativas.»

**ANTIGÜEDADES CRETENSES.** «El doctor Arthur Evans ha suspendido, por ahora, sus grandes trabajos en Creta. ¿Dónde se guardarán los tesoros que ha encontrado? Dada la nacionalidad del doctor Evans, muchos han confiado en que parte de ellos podrían acabar en el Museo Británico. Pero se informa ahora que en Candía se ha puesto la primera piedra de un museo cretense que albergará las inapreciables antigüedades que premiaron al doctor Evans por sus excavaciones en Knosos. Al recordar la vergüenza de los mármoles de Elgin, sólo podemos admitir que es lo justo. Creta, con la que nuestra deuda es inestimable, tiene sin duda todo el derecho a poseer esas muestras de los orígenes de las bellas artes y esas tablillas de arcilla en las que se empezó a escribir la Historia de Europa hace tres mil quinientos años.»

## ...ciento cincuenta años

**LA SENDA DE LOS MOSQUITOS.** «Hay, no cabe duda, mayor proclividad a la enfermedad durante el sueño que en el estado de vigilia. Quienes pasan la noche en la Campiña de Roma quedan sin remedio infectados por su aire nocivo, mientras que los viajeros que la atraviesan sin detenerse escapan a los miasmas.»

**¿QUÉ ES EL CALOR?** «¿Qué sabemos del calor como sustancia? ¿Hay un hombre que lo haya visto con sus ojos, manejado con sus manos (como una piedra) o pesado en una balanza? No. Carecemos por completo de pruebas genuinas de su existencia como materia, y nada sabemos de él como tal; ahora bien, en cuanto *calidad* propia de toda la materia, que se genera en ciertas condiciones, es mucho lo que sabemos. El calor es una propiedad con la que el Gran Hacedor ha dotado a toda materia, al igual que la ha dotado con el atributo de la *pesantez*.»



*El aprendizaje de los niños, estudiado por Jean Piaget, 1953*

## GEOFISICA

### Gaseosa Vostok

Perforar el lago Vostok, la extraña masa de agua que anida a cuatro mil metros de profundidad bajo el hielo antártico, podría hacerlo reventar como una lata pinchada de refresco gaseoso. El Vostok interesa por su frialdad y aislamiento (cabe la posibilidad de que albergue microorganismos singulares); podría servir para los preparativos de la exploración de la luna joviana Europa. El pasado año, unos científicos rusos anunciaron sus planes de perforarlo. Ahora, basándose en el contenido de gas del hielo circundante, un equipo de la NASA informa de que cada litro de agua del lago contiene 2,5 litros de gas comprimido, con una presión del mismo orden que la de una gaseosa sin abrir. Habría que presurizar el orificio de la barrena o dejar que se recongelara; si no, ocurriría un estallido, similar a un géiser, que avernaría el lago y permitiría que entrasen en él contaminantes.

—J. R. Minkel



El lago subglacial subterráneo Vostok en una imagen de radar

## FARMACOLOGIA Y TOXICOLOGIA

### Alucinante

Aceptar un resultado experimental nuevo es en parte un acto de fe, fe que nace del prestigio. Pero Flaubert podría haber escrito en su Diccionario: “Prestigiosa. Dícese siempre de ciertas revistas, universidades e instituciones.” Por ejemplo, las protagonistas de la siguiente historia. En un experimento realizado en la Universidad Johns Hopkins, cinco monos recibieron dosis de éxtasis espaciadas de manera que equivaliesen al consumo habitual en una *rave party*. Uno murió y otro enfermó. No parece que las personas que lo ingieren alcancen esa misma tasa de mortandad. Pero George Ricaurte y sus colaboradores, responsables del ensayo, sostuvieron que el análisis de los monos demostraba que la 3,4-metilenodioximetanfetamina (MDMA), es decir, el éxtasis, atacaba la dopamina, el neurotransmisor cuya merma caracteriza la enfermedad de Parkinson. De ahí a afirmar que bastaba una noche extática para correr el riesgo de acabar padeciendo más tarde el Parkinson no había más que un paso. (En una investigación anterior habían ya observado un efecto negativo en la serotonina, aunque no tan omi-

noso.) Se publicó en 2002 en *Science*, la revista de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, cuyo ejecutivo jefe, y ex director del Instituto Nacional de la Drogadicción, Alan I. Leshner, se apresuró a sacar una incisiva conclusión: “Jóvenes, no experimentéis con vuestro cerebro”. Periódicos, televisiones y hojas web médicas divulgaron la noticia como si fuese una verdad establecida. Pero hubo también algunos disconformes. Entre ellos, ciertos científicos de la no tan prestigiosa Asociación Multidisciplinar para los Estudios Psicodélicos. Remitieron una carta a *Science* con una serie de críticas. Ricaurte encontró una respuesta, más o menos convincente, para cada objeción. Eso fue en junio de este año. Pero la verdad es la verdad, la diga Agamenón o su porquero. El 12 de septiembre aparecía una rectificación en *Science*. Por error, reconocían Ricaurte y sus colaboradores ahora, no se les dio a los monos MDMA, sino metanfetamina, es decir, *speed*. Con este producto, las dosis administradas eran excesivas. A los críticos se les había escapado el meollo de la cuestión.

## FISICA

### Un cuarto de hidrógeno

Se bombardearon moléculas de agua con neutrones energéticos para analizar el comportamiento de los protones. El número de neutrones dispersados fue un 25 % menor del esperado; parecía como si se hubiera esfumado un cuarto de los núcleos de hidrógeno. Aunque con benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) y metales hidrogenados el resultado fue el mismo, el grupo germano-británico que realizó el experimento quiso verificarlo mediante otra técnica. Atacaron con electrones, no con neutrones, un polímero sólido, el formvar (C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>). El déficit de hidrógeno persistió. Se ha atribuido ahora esa trans-



parencia parcial a un entrelazamiento cuántico de corta duración de los protones. En los menos de 10<sup>-15</sup> segundos necesarios para la dispersión, el protón existe en un frágil estado cuántico de interconexión. El protón interfiere destructivamente consigo mismo a causa de ese entrelazamiento; a todos los efectos es como si se autoaniquilara en parte. Las partículas que se dispersan sólo perciben la fracción restante.

—J. R. Minkel

¿H<sub>1,5</sub>0? Bombardeado, un protón pierde un cuarto de sí

## COSMOLOGIA

### La forma del universo

Se ha interpretado la cartografía del fondo cósmico de microondas (FCM) efectuada por el satélite WMAP como una ratificación del modelo cosmológico vigente. A tenor de dicha hipótesis, vivimos en un universo plano, infinito, en expansión acelerada. Sin embargo, quedan por explicar algunas anomalías, que afectan a cuestiones fundamentales. Los datos concuerdan con la planitud, pero sólo yendo al límite inferior del margen de error del valor que WMAP le ha medido al parámetro de densidad que rige la geometría del universo. En realidad los datos casan mejor con un mundo de leve curvatura positiva —como una esfera—, un universo, pues, cerrado y finito, pero sin bordes. La finitud del universo, si fuera suficientemente pequeño, dejaría una huella directa en el FCM; pero esa pequeñez requiere topologías complicadas. Las fluctuaciones del FCM están relacionadas con las inhomogeneidades (o primeros grumos) de la densidad de la materia que comenzaba a estructurarse en el universo incipiente. De acuerdo con la cosmología relativista, las fluctuaciones de la materia representan fluctuaciones de la métrica del espacio mismo, y éste, si es finito, no puede admitir longitudes de onda mayores que su propio tamaño (de igual manera que las vibraciones de una campana no pueden ser mayores que la campana). Por ello, deberíamos encontrar “un corte” en el espectro y una longitud de onda máxima en las fluctuaciones medidas. Los datos del WMAP muestran precisamente dicho corte, esto es, un decrecimiento notable —e inesperado si el universo fuera infinito— en el espectro a las mayores longitudes características. Luminet, Weeks, Riazuelo, Lehoucq y Uzan han demostrado que un espacio finito con una topología determinada satisface las mediciones a todas esas escalas: un dodecaedro —su versión curva— tal, que cada cara está conectada con su opuesta; saliendo por la una se entra por la otra (un “espacio dodecaédrico de Poincaré”). El modelo les lleva

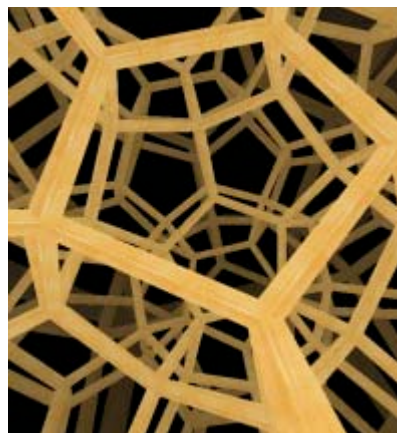


*Un pentágono esférico es un fragmento pentagonal de esfera; con 12, se la embaldosa*

además a una predicción contrastable: el FCM debe presentar seis pares de circunferencias, de  $35^\circ$  de radio, que exhiban un mismo patrón de fluctuaciones del FCM —las múltiples conexiones del espacio repiten imágenes en distintas posiciones—. Pero Cornish, Spergel y Starkman, a quienes se debe la idea de estudiar la pequeñez y complejidad topológica de un mundo finito mediante pares de circunferencias, han calculado con Eiichiro Komatsu, a partir de los resultados del WMAP, que, al menos, no las hay de más de  $25^\circ$ . Ahora bien, con un valor del parámetro de densidad de la masa-energía un poco distinto, el modelo dodecaédrico predeciría círculos menores, que deben buscarse aún. Hay todavía que comprobar otros aspectos del cálculo. En junio de 1999 *Investigación y Ciencia* publicó un artículo de Luminet, Weeks y Starkman acerca de la finitud del espacio.

—Alejandro Gangui

*Un observador que viviese en un dodecaedro esférico de caras conectadas podría interpretar que habita en un universo esférico constituido por células dodecaédricas esféricas iguales; 120 embaldosan la superficie tridimensional de una hiperesfera (una pelota) de cuatro dimensiones*



## VIROLOGIA

### El virus del Nilo

Edward Jenner descubría que una infección con el virus benigno de la pústula de las vacas confiere inmunidad frente a la viruela, su pariente próximo. Un procedimiento similar podría dar resultado contra el mortífero virus del Nilo, propagado por los mosquitos. Al investigar su código genético, se ha comprobado que su secuencia se asemeja a la del virus australiano de Kunjin, que no es letal; sólo causa fiebre y dolores. El equipo de Roy Hall, de la Universidad de Queensland en Brisbane, ha inyectado a ratones distintas cantidades de ADN de virus atenuado de Kunjin. Descubrieron así que bastan 0,1 microgramos de ADN de virus de Kunjin para activar los anticuerpos correspondientes tanto a éste como al virus del Nilo: con esa cantidad protegían a los ratones inyectados con dosis letales.

—Charles Choi

*Los mosquitos, que propagan el virus del Nilo, podrían aportar también la vacuna*



CORTESÍA DE JEFF WEEKS <http://geometrygames.org> (arriba); TONY BRAIN SPL/Photo Researchers, Inc. (abajo)





# Plasticidad cerebral

Al parecer, ciertos ejercicios mentales y físicos pueden mejorar el cerebro de forma insospechada. Un punto a favor del viejo aforismo de resabios lamarckistas según el cual lo que no se usa, se pierde

Marguerite Holloway

“**E**l cerebro fue construido para cambiar”, sentencia Michael M. Merzenich, del hospital clínico de la Universidad de California en San Francisco. Tal afirmación, que hoy no resulta tan revolucionaria como lo fue en los años ochenta, cuando Merzenich y otros la propusieron, viene a decir que el cerebro evoluciona en una dirección u otra según lo “empuje” la experiencia. Semejante idea puede parecer obvia, puesto que es evidente que nuestros cerebros se modifican. Después de todo, aprendemos. Pero Merzenich se refiere a algo de mayor alcance: esta facultad del cerebro para reconfigurarse por sí mismo tiene consecuencias mucho más impresionantes.

Se diría que el cerebro viene a ser una vasta llanura fluvial de aspecto cambiante. Puede que un año el agua corra hacia el este por una serie de pequeños canales; al año siguiente discurrirá quizá por un río profundo, y, un año más tarde, quién sabe si las corrientes trazarán meandros hacia el oeste. El mismo argumento sirve para el cerebro. Cámbiesele la información de entrada —sea ésta una conducta, un ejercicio mental como calcular una propina, aprender un nuevo juego de tablero o una destreza física— y el cerebro, joven o adulto, se modificará en consecuencia. Las técnicas de formación de imágenes por resonancia magnética

revelan el nuevo mapa: se iluminan regiones diferentes. De acuerdo con esta hipótesis, el cerebro puede experimentar una amplia remodelación en el transcurso de la vida sin fármacos ni intervención quirúrgica. En caso necesario, es posible enseñar a regiones del cerebro nuevas tareas. Si un área cerebral sufre una disfunción o resulta lesionada, otra puede hacerse cargo de su cometido, suplirla. Se han observado tales desplazamientos de funciones en sujetos que han padecido un accidente cerebrovascular, con pérdida consiguiente del lenguaje o de capacidad motora, en enfermos de parálisis cerebral, en músicos u operarios incapacitados para mover los dedos uno a uno y en individuos con trastorno obsesivo-compulsivo o con trastornos de lectura. Con tandas de ejercicio intenso, físico y mental, se ha logrado neutralizar los efectos de la lesión.

El paso siguiente consiste en ampliar y perfeccionar estos tratamientos; también, en investigar tareas basadas en el ejercicio que produzcan mejoras en las condiciones de esquizofrenia, la enfermedad de Parkinson, la pérdida senil de la memoria, el autismo y otras afecciones.

A muchas personas —quienes practican la meditación o la bio-retroalimentación e incluso quienes siguen tratamiento psicoterapéutico— la idea de ejercitar el

## EL HOMUNCULO

LA CORTEZA CEREBRAL está organizada en varias regiones; entre ellas, la corteza motora y la corteza sensorial. El diagrama clásico del homúnculo correspondiente a cada una de estas cortezas muestra el espacio relativo —o mapa— que el cerebro utiliza para procesar y responder a la información proveniente de distintas partes del cuerpo. Nuevos descubrimientos indican que tales mapas pueden modificarse con las experiencias del individuo.



cerebro en determinadas tareas puede parecerles intuitiva: concentrémonos en determinado aspecto y nuestro cerebro, según se vislumbra a través de nuestro comportamiento, se modificará. Pero en la comunidad médica y neurocientífica, ese concepto y sus posibles aplicaciones terapéuticas les resultan novedosos. Thomas P. Sutula, director del instituto de neurociencias de la Universidad de Wisconsin en Madison, recuerda que, hace un par de décadas, creíase que el cerebro constituía una caja negra, al estilo del disco duro de un ordenador.

A Merzenich, uno de los protagonistas de la nueva revolución, se le critica por haber fundado una compañía con ánimo de lucro que desarrolla terapias basadas en la plasticidad; se le objeta que se haya lanzado al mercado sin antes realizar las pruebas y los ensayos adecuados. Pero las cuestiones esenciales de este nuevo campo trascienden esa controversia. Aunque la investigación haya echado los cimientos para empezar a entender la neuroplasticidad basada en las des-

trezas o impulsada por la experiencia, quedan muchas incógnitas por despejar. De entrada, ¿dónde están sus límites? Se ignora cuál es el grado de plasticidad del cerebro adulto en comparación con el del niño; sólo se sabe que es menor. Tampoco acabamos de conocer el mecanismo de actuación de la plasticidad en sus distintos niveles, desde los impulsos eléctricos hasta las regiones especializadas del cerebro, pasando por los neurotransmisores, las sinapsis y las redes. Por no hablar de cuánto puede perder una parte del cerebro cuando toma a su cargo las funciones de otra.

### Sinapsis y secciones

De ninguna palabra se ha abusado tanto en las neurociencias como de “plasticidad”. El término se ha convertido en comodín para designar cualquier cambio operado en el cerebro, sea químico o neurogénico. Se habla de plasticidad para aludir también a la remodelación cartográfica de regiones extensas. Roger Nicoll, de la Universidad de California en San Francisco, estudia la plasticidad de la sinapsis, lugar donde las neuronas se comunican entre sí mediante neurotransmisores. El aprendizaje entraña el refuerzo de las conexiones entre neuronas, por un doble camino, a través de la creación de nuevas conexiones y a través de la intensificación de su capacidad para comunicarse químicamente. Tales cambios vinculan las neuronas en una cadena que puede volverse a formar con el fin de evocar un movimiento, un sentimiento o un pensamiento. Por eso se repite que las neuronas que se excitan conjuntamente, estrechan su lazo. La neuroplasticidad vive o muere en el nivel sináptico.

Hasta mediados de los años sesenta se creía que los adultos eran incapaces de crear nuevas sinapsis, que las conexiones entre neuronas quedaban fijadas en una

### Resumen/*Plasticidad del cerebro*

- Contrariamente a la creencia largamente sostenida, la estructura del cerebro adulto no es rígida. Con mayor facilidad de lo que se pensaba, una región puede reemplazar y asumir la función de otra.
- Se está sacando partido de la neuroplasticidad para tratar individuos con dificultades de lectura, víctimas de accidente cerebrovascular y ciertas formas de lesiones debidas a estrés repetitivo.
- Algunos expertos confían en que la práctica de ejercicios físicos y juegos especiales de ordenador sirvan para ayudar a los individuos a reeducar sus cerebros, con el fin de superar problemas de memoria y diversos trastornos mentales.

posición definida al concluir el desarrollo cerebral. La investigación iniciada por entonces empezó a vislumbrar que no era así. Geoffrey Raisman y Pauline M. Field, a la sazón en la Universidad de Oxford, demostraron la existencia de plasticidad sináptica en adultos. Los grupos encabezados por Mark R. Rosenzweig, de la Universidad de California en Berkeley, y William T. Greenough, de la de Illinois, entre otros, llegaron a descubrimientos impresionantes sobre la forma en que el entorno y la experiencia afectaban al cerebro. Greenough demostró que en las ratas, jóvenes y adultas, se establecían nuevas sinapsis si se les planteaban tareas difíciles o se las introducía en entornos complejos, aunque mucho menos que el medio en que se desenvuelven en estado libre. Las nuevas sinapsis reforzaban la memoria y la coordinación motora.

Estos estudios sobre la ejercitación y lo que se ha dado en llamar “enriquecimiento” (creación de estímulos por medio de juguetes o de tareas) continúan floreciendo; se investigan sus aplicaciones clínicas. La estimulación y el ejercicio aceleran la recuperación de lesiones cerebrales en ratas. Según parece, si se introducen ratones portadores de un gen de Huntington en un entorno complejo, se retrasa el desarrollo de la enfermedad. Greenough y otros han vinculado estos efectos con la creación no sólo de sinapsis, sino también de vasos sanguíneos y de astrocitos, células cerebrales que desempeñan un papel importante en la eliminación de sustancias en exceso, potasio por ejemplo, y en el mantenimiento de un medio óptimo para las neuronas. La formación de mielina, envoltura lipídica que recubre los axones y cumple una misión crucial para su supervivencia y su eficacia, se ve asimismo reforzada en estas situaciones.

La importancia de la plasticidad a mayor escala —pensemos en una red entera de neuronas o en una región del cerebro— se reconoció tiempo después de haberse apreciado la plasticidad sináptica. Pero la idea de la misma venía de lejos. En el cambio del siglo XIX al XX, varios autores propusieron que el cerebro era plástico, conformado por la experiencia. William James postulaba que la experiencia modifica constantemente el cerebro y, en los años veinte, Karl Lashley observó que la corteza motora de los monos parecía cambiar de una semana a otra. En los años setenta prosiguieron trabajos similares, aunque se impusieron los hallazgos de quienes proponían un cerebro adulto fijo e invariable: el cerebro sólo cambiaba masivamente durante el desarrollo del neonato y la infancia temprana, es decir, en los estadios críticos. La imagen del cerebro asociado a un ordenador con la circuitería terminada predominó.

Los experimentos emprendidos en los años ochenta por Merzenich, Jon Kaas, de la Universidad Vanderbilt, y otros revelaron que la corteza motora de un mono adulto podía cambiar. La corteza —la superficie del cerebro donde, en los humanos, residen las re-

giones del lenguaje y el razonamiento— está organizada en áreas correspondientes a las funciones sensoriales, motoras, auditivas y de otro tipo de información. En un estudio, poco después de amputarle un dedo a un mono se observó que el lugar de la corteza motora que antes era activado por ese dedo exhibía respuestas emitidas por neuronas que portaban información de un dedo contiguo, lo que indicaba que el área cerebral originalmente dedicada al dedo perdido se hallaba ahora supervisando y procesando información procedente del vecino.

Tal experimento supuso una revelación para la comunidad de neurocientíficos. Se daba por sentado que los genes contenían el anteproyecto del cerebro y de la organización de sus procesos. Nadie sospechaba que pudieran detectarse cambios de semejante nivel macroscópico. Aun así, los suplentes se hallaban a pocos milímetros de distancia. Luego, en 1991, se descubrieron otros que habían recorrido centímetros. Los cimientos para tal descubrimiento se habían echado muchos años antes, cuando Edward Taub, docente hoy en la Universidad de Alabama en Birmingham, seccionó varios nervios de un brazo en unos cuantos monos para observar los efectos que se producían en sus cerebros. Taub se vio obligado a suspender la investigación tras una querrela interpuesta por activistas defensores de los derechos de los animales. Años después, esos mismos monos fueron examinados por Tim P. Pons, de la Universidad Wake Forest, Taub y por otros, quienes observaron algo notable. El área del cerebro que originalmente había recibido información del brazo, ahora inutilizado, recibía información procedente del rostro. Los cambios se extendían a través de grandes distancias. Se había producido una reorga-

## NUEVO MAPA DE LA MANO

Inmediatamente después de seccionar el nervio

A los 22 días de la sección



EN UN EXPERIMENTO con monos, hoy clásico, Michael M. Merzenich demostró la plasticidad de los mapas corticales del cerebro. Tras seccionar un nervio que aportaba información de una parte de una mano o de un dedo (*porciones sombreadas, a la izquierda*) a una parcela específica de la corteza, descubrió que la misma parcela cortical empezaba a responder a regiones de la mano a las que no servía anteriormente (*porciones sombreadas, a la derecha*). Más todavía, las áreas representadas en esa corteza se ampliaron con el tiempo.

nización en la corteza de magnitud tal, que nadie consideraba posible. Fue otro hito. El cerebro adulto era dinámico y eficiente; no dejaba espacios vacíos sin aprovechar.

## Mapas cerebrales

A lo largo de los dos últimos decenios, la investigación en monos ha convergido con las pruebas obtenidas de humanos. La plasticidad cortical se ha convertido en una propiedad aceptada del cerebro adulto. Los estudios realizados con personas que han perdido una extremidad demuestran que el espacio que anteriormente descodificaba información aferente de ese miembro puede prestar servicio al muñón o al rostro. En los músicos de cuerda, el área de la corteza que gobierna la mano de digitación es mayor que la correspondiente a la mano que no digita; los dedos más utilizados son los que tienen asignado mayor espacio. En las personas que leen Braille, la corteza visual se torna activa cuando palpan las prominencias con los dedos.



**1. LA TERAPIA DE MOVIMIENTO con restricción inducida opera de acuerdo con el principio siguiente: podemos enseñar a alguien a utilizar otra parte de su cerebro para que asuma la función de un área lesionada o disfuncional. Al inmovilizar su brazo sano, el paciente fuerza a su cerebro a aprender a utilizar el brazo resentido tras un accidente cerebrovascular.**

Dada la convergencia de todos estos datos, Merzenich, Taub y otros trataron de averiguar de qué forma sacarles partido en beneficio de quienes sufren lesiones o incapacidades. Hasta el momento, las indicaciones más claras de que el cerebro puede ser curado merced a su propia plasticidad proceden de trabajos que el grupo Taub abordaron en los años ochenta con pacientes que habían sufrido un accidente cerebrovascular. En experimentos anteriores, Taub había descubierto que los monos a los que se habían seccionado nervios de un brazo lo movían si se les obligaba a ello mediante una descarga eléctrica. Resulta que las personas que han perdido función motora tras un accidente cerebrovascular pueden también aprender de nuevo a utilizar el brazo. Restringiendo la movilidad del brazo sano y haciendo que los pacientes realicen de una forma intensiva ejercicios de entrenamiento y tareas motoras con el brazo débil durante muchas horas, todos los días a lo largo de dos semanas, Taub, Wolfgang Mitner, de la Universidad de Jena, y Thomas Elbert, de la Universidad de Constanza, lograron que los pacientes volvieran a mover un brazo aparentemente seco. En el argot técnico se trata de una terapia de movimiento por restricción inducida (RI). A pesar de que se daba por inconcuso que no cabía recuperación de la función pasado un año, algunos pacientes —incluso quienes habían sufrido un accidente cerebrovascular hacía 20 años o más— volvieron a servirse de sus brazos.

Esta recuperación queda reflejada en los desplazamientos que se producen en los mapas cerebrales de los sujetos. La terapia RI había provocado la intervención de nuevas áreas corticales, adyacentes al área lesionada. En un trabajo reciente, Daniel B. Hier, de la Universidad de Illinois en Chicago, determinó que las configuraciones corticales de las víctimas de un accidente cerebrovascular experimentan también desplazamientos tras seguir otro método de rehabilitación.

Aunque la práctica se haya extendido bajo diversas formas, muchos expertos prefieren esperar resultados de estudios más completos antes de adoptarla. A tal fin, el norteamericano Instituto Nacional de la Salud ha financiado un ensayo clínico de la terapia RI en seis centros. Es preciso conseguir réplicas suficientes. Averiguar, además, si la terapia RI es útil en ciertos tipos de pacientes y no en otros y desde cuándo debe iniciarse.

Taub, Elbert y otros han empezado a aplicar terapia RI en niños con parálisis cerebral. Han cosechado éxitos en la rehabilitación de víctimas de accidente cerebrovascular con dificultades de lenguaje. Estos pacientes afásicos repiten ciertos sonidos durante varias horas al día. A diferencia de la terapia motora, el “impedimento” no entraña ninguna “restricción” en este método; consiste esencialmente en una práctica intensiva de palabras y sonidos.

Taub, Merzenich y Nancy Byl, de la Universidad de California en San Francisco, han recurrido a una terapia similar para la recuperación de la motilidad de los dedos en músicos y obreros. Cuando se usan los dedos una y otra vez en rápida sucesión, las distinciones entre las regiones de la corteza empiezan a des-