

Mente y cerebro

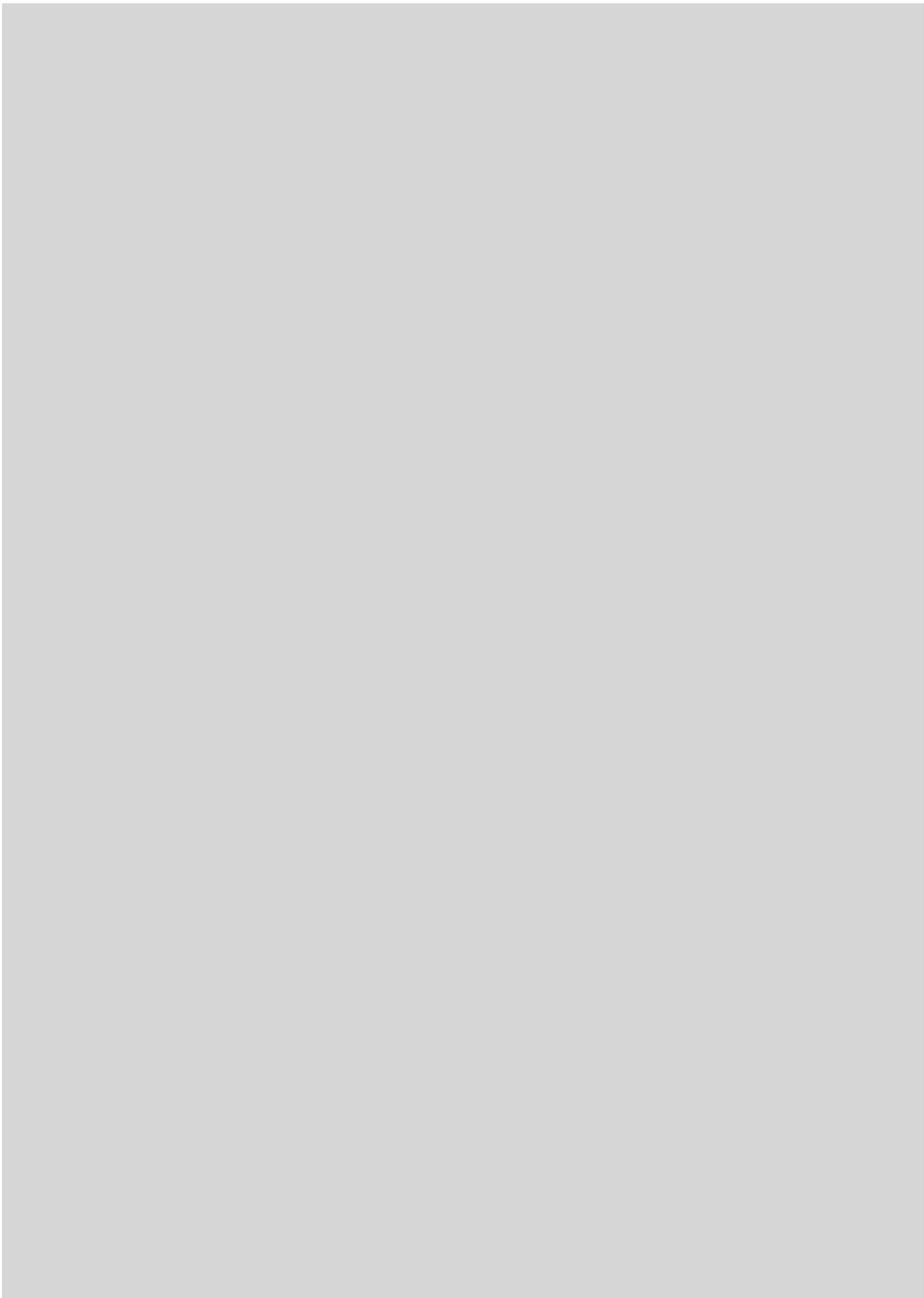
INVESTIGACION
CIENCIA

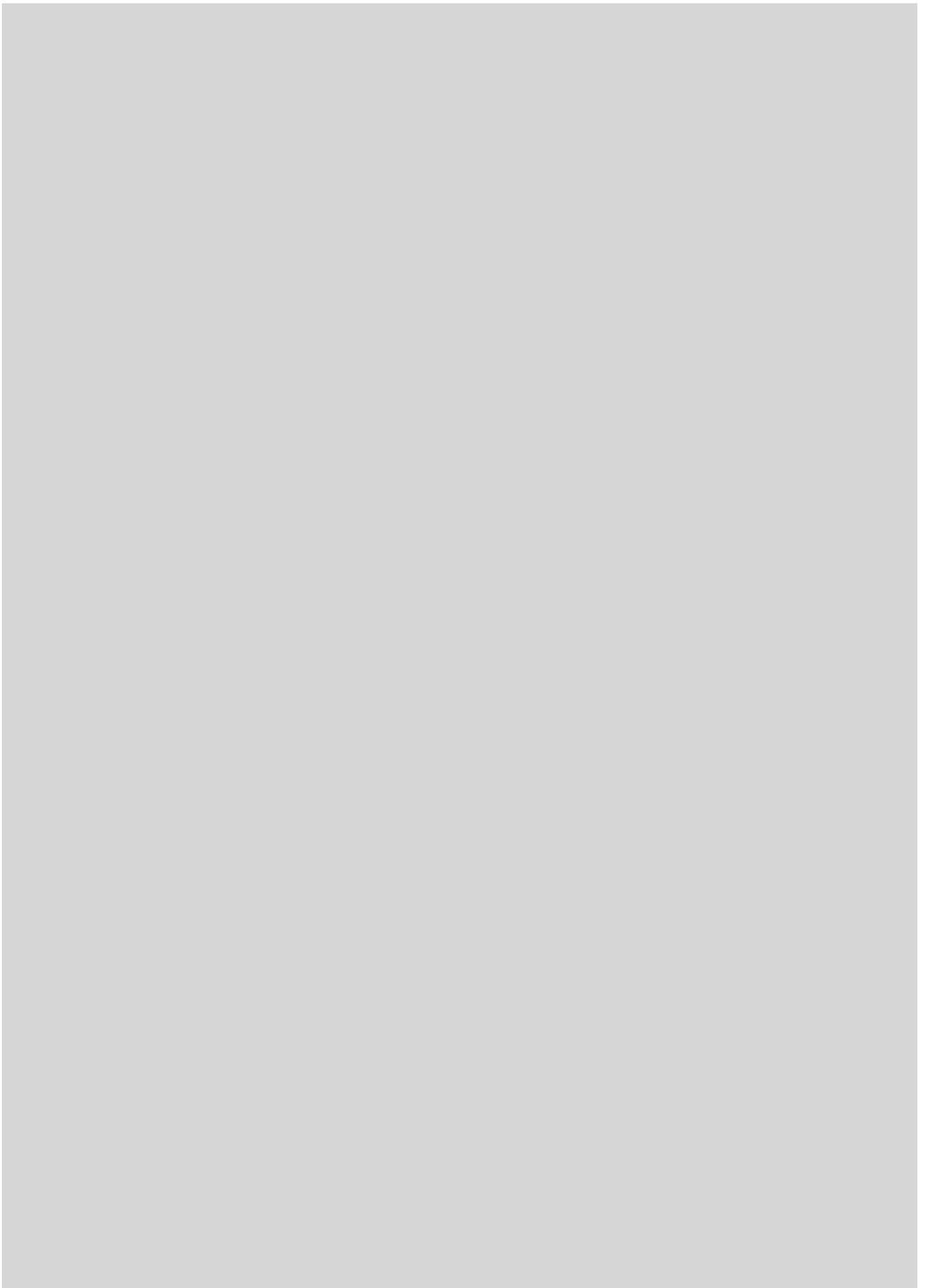
- 
- **Franz Anton Mesmer**
 - **Plasticidad neural**
 - **El problema cuerpo-alma**
 - **Sistema acústico de orientación**
 - **Elección de pareja**

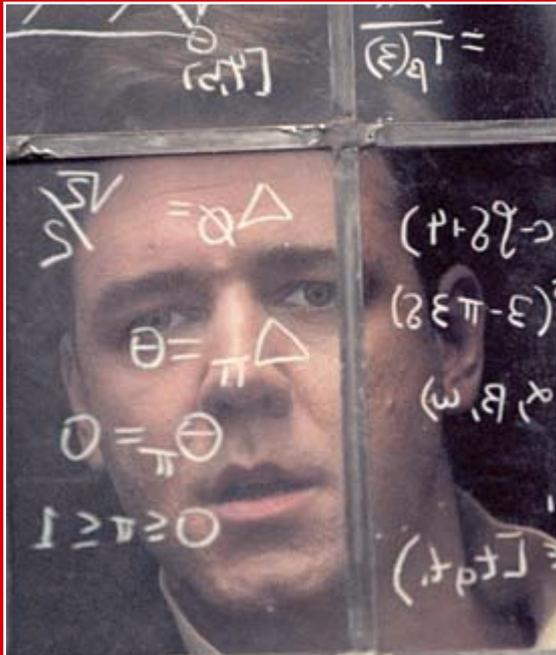
Esquizofrenia

3er trimestre 2003









2002 UNIVERSAL STUDIOS

Esquizofrenia

11 Plasticidad neural

Manuel Nieto Sampedro

Cambios en el número, tipo y función de las conexiones del sistema nervioso son la base de la adaptación de los vertebrados a condiciones cambiantes.

39 Neurodidáctica

Gerhard Friedrich y Gerhard Preiss

Al aprender cambian los circuitos del cerebro. La "neurodidáctica" postula que los neurólogos pueden ayudar a profesores y pedagogos.

60 El problema cuerpo-alma

Franz von Kutschera

Existe una creciente tendencia a reducir nuestras facultades superiores a la actividad de las neuronas del cerebro, a nuestra corporalidad biológica.

66 Sistema acústico de orientación

Manfred Kössl y Marianne Vater

Avanzando en el estudio de los murciélagos se van descubriendo los trucos refinados que utilizan.

73 Control del pensamiento

Henning Scheich

Diríase que los investigadores del cerebro están hoy en condiciones de manipular casi a su antojo nuestro órgano del pensamiento. Pero, ¿otorgan realmente un poder ilimitado sobre las personas?

78 La búsqueda de la felicidad

Uwe Hartmann, Udo Schneider y Hinderk M. Emrich

Todos aspiramos a la felicidad, pero a nuestras buenas intenciones se opone una amarga realidad: somos los primeros obstáculos en ese camino.

84 Elección de pareja

Lynn Dicks

Mire usted a su esposa o marido con detenimiento. ¿Le recuerda a alguien?

87 Matrimonio virtual

Ariane Fiesser

Mucha gente considera la búsqueda de compañero de pareja una empresa ardua y complicada.

20 Entre el delirio y la realidad

Franz X. Vollenweider, Margreet F. I. Vollenweider-Scherpenhuyzen y Katja Ludewig

El mundo de los esquizofrénicos remeda, a veces, las intoxicaciones por drogas. De hecho, las anfetaminas y el LSD inducen procesos cerebrales semejantes a los del trastorno esquizofrénico.

28 Esquizofrenia y arte

Thomas Fuchs

¿Por qué nos fascinan las obras de los artistas esquizofrénicos? Quizá se deba a que sus creadores miran en abismos que el resto de los mortales sólo es capaz de atisbar.

36 Diagnóstico precoz de la esquizofrenia

Katja Gaschler y Armin Schulz

Desde hace más de un siglo, la esquizofrenia constituye un misterio para los investigadores. Pero se han logrado avances considerables en los últimos años, sobre todo en el diagnóstico precoz.

SECCIONES

ENCEFALOSCOPIO

5 Las manos de Lucy. Crecimiento del axón. Ojos de lince. Dopamina, antes y después de la cocaína. Canibalismo. Madre coraje. Y la Biblia tenía razón. Esclerosis múltiple. Entomofagia. Pruebas de paternidad. Asociación de malhechores. ¿Gen anti-teste o pro-teste?

RETROSPECTIVA

8 **Franz Anton Mesmer (1734-1815)**

ENTREVISTA

46 **¿Podemos conocer el mundo exterior?** ¿Cómo se originan los conocimientos? De esta pregunta se ocupan cada vez más, junto a los filósofos, también los neurólogos. Humberto Maturana, biólogo y teórico de sistemas, propugna una "epistemología experimental".

MENTE, CEREBRO Y SOCIEDAD

48 Regeneración del cerebro. Neurobiología del error. Androides inteligentes. El homúnculo se moderniza

PUNTO DE MIRA

56 **La visión materialista de la neuroética** Se abre paso en la investigación neurológica el mayor reto científico de nuestra sociedad, que concierne a la base de la dignidad humana y los límites de su manipulación. Wolf Singer, neurólogo, y Thomas Metzinger, filósofo, hablan de ello.

SYLLABUS

90 **Sincronización neuronal** Las células nerviosas del cerebro pueden sincronizar su actividad y emitir impulsos eléctricos al mismo tiempo. Los investigadores no han logrado establecer todavía la razón de ese fenómeno.

ENSAYO FILOSÓFICO

92 **Crítica en Kant**

LIBROS

94 **Dualismos**

Mente y cerebro

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

Gehirn & Geist

CHEFREDAKTEUR:

Dr. habil. Reinhard Breuer (v.i.S.d.P.)

STELLV. CHEFREDAKTEUR/LEITER PRODUKTENTWICKLUNG:

Dr. Carsten Könneker

REDAKTION: Dr. Katja Gaschler,

Dr. Hartwig Hanser (freiber.)

STANDIGER MITARBEITER:

Hermann Englert

SCHLUSSREDAKTION:

Katharina Werle, Christina Peiberg

BILDREDAKTION:

Alice Krüßmann

ART DIRECTOR/LAYOUT:

Karsten Kramarczik

REDAKTIONSASSISTENZ:

Eva Kahlmann, Ursula Wessels

GESCHÄFTSLEITUNG:

Dean Sanderson, Markus Bossle

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:

IGNACIO NAVASCUÉS: *Entre el delirio y la realidad y Diagnóstico precoz de la esquizofrenia*; ANGEL GONZÁLEZ DE PABLO: *Esquizofrenia y arte*; JUAN ACORDAGOICOECHEA: *Neurodidáctica, Entrevista, El problema cuerpo-alma y Control del pensamiento*; FRANCESC ASENSI: *Regeneración del cerebro*; JUAN AYUSO: *Neurobiología del error, El homúnculo se moderniza, Punto de mira, Sistema acústico de orientación, La búsqueda de la felicidad, Elección de pareja y Matrimonio virtual*; DAVID BARBERO: *Androides inteligentes*; STEPHAN POHL: *Syllabus*.



Portada: ZEFA / Masterfile

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
Edificio Eurobuilding
Juan Ramón Jiménez, 8, 1.^a planta
28036 Madrid
Tel. 912 776 400 - 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

Copyright © 2002 Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, D-69126 Heidelberg

Copyright © 2003 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.

ISSN 1695-0887

Dep. legal: B. 39.017 - 2002

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

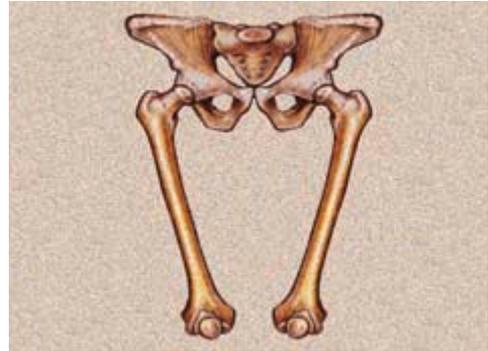
Printed in Spain - Impreso en España

ENCEFALOSCOPIO

Las manos de Lucy

Tras un nuevo análisis de los huesos de la mano de *Australopithecus afarensis*, la especie a la que pertenecía Lucy, el paleontólogo David M. Alba desmiente el supuesto parecido con la extremidad anterior del chimpancé. En punto a habilidad, las manos de Lucy se acercaban bastante a las nuestras. Con ello queda en tela de juicio la pretendida evolución adaptativa de las mismas para la fabricación de herramientas. No hay indicios de que *A. afarensis*, que vivió en África oriental hace 3,5 millones de años, creara útiles líticos. Antes bien, las manos cumplirían una función primera en el aseo y en la comida.

Pelvis y miembros inferiores de Lucy



Crecimiento del axón

Con frecuencia creciente van apareciendo funciones nuevas para las proteínas ya identificadas y con una misión comprobada. La familia Wnt constituye un extenso grupo de moléculas señalizadoras, que participan en los procesos de formación de patrones durante la embriogénesis. Se ignoraba, sin embargo, que orientaran también el crecimiento del axón. Sabemos que el sistema nervioso en desarrollo recuerda a una ciudad en hora punta, con una población enorme de neuronas, hasta 10^{12} en el hombre. Durante ese período las neuronas extienden unas finas proyecciones, los axones, que deben

orientarse, escoger un camino entre vías alternativas para alcanzar su destino. ¿Quién los guía? Para averiguarlo se ha estudiado un modelo animal sencillo, el sistema nervioso central del embrión de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*), que tiene simetría bilateral. Los axones progresan aquí a través de la línea media. Más o menos la mitad de los axones de cada segmento del cuerpo de la mosca toman la ruta anterior, estableciendo un haz axónico (comisura); la otra mitad toma la ruta posterior, formando la comisura posterior. La elección de la comisura viene controlada por el receptor Derailed, una quinasa de tirosina. El receptor Derailed se engarza con la proteína Wnt5 en el cordón nervioso.

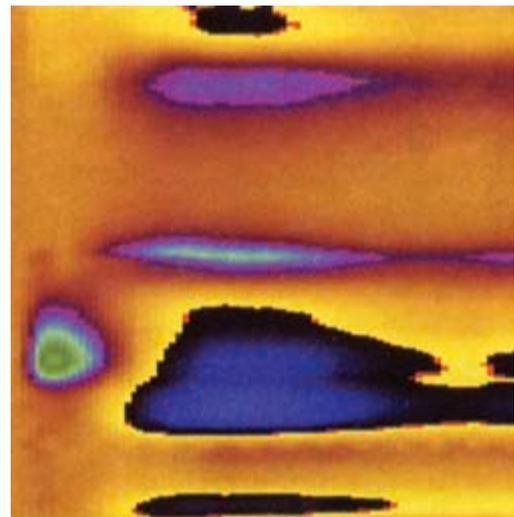
Ojos de lince

A la sociedad de los que veían con mayor perspicacia que los demás, a la Accademia dei Lincei, pertenecía Galileo. No es infrecuente en la historia de la ciencia y la técnica que algunos se atrevan a leer el futuro. Tales pronósticos deben tomarse a beneficio de inventario. He aquí un breve muestrario de crestomatía científica: “no son posibles máquinas voladoras que pesen más que el aire” (Lord Kelvin, 1895), “en el mundo no hay mercado para más de 15 ordenadores” (presidente de IBM, 1945), “los vuelos espaciales son un desvarío de la imaginación” (director del Real Observatorio de Astronomía, inglés, 1956), “la biología molecular ha muerto” (Gunther Stent, 1968) y, quizá la más desventurada, “estamos a punto de cerrar el libro de las enfermedades infecciosas” (presidente del Colegio Norteamericano de Cirujanos, 1970).

Dopamina, antes y después de la cocaína

El consumo de cocaína excita la actividad de las neuronas que contienen dopamina. En ese dato fisiológico se basan los experimentos sobre refuerzo del aprendizaje, ensayos en que se gratifica con la droga a los animales que ejecutan bien la tarea asignada. Experimentada la relación entre presión de una palanca, por ejemplo, y recompensa, la rata aprende pronto a desenvolverse por el laberinto que le lleva a la palanca, en busca del placer que le proporciona la descarga consiguiente del neurotransmisor dopamina en el *nucleus accumbens*. Pero, ¿qué le incita al placer? La propia dopamina, que antecede y sigue pues a la recompensa. Con técnicas neuroelectroquímicas de rastreo rápido se midieron los niveles de dopamina a una resolución de subsegundos; apareció una asociación íntima entre dopamina y control de consumo de droga en tiempo real. Así ha quedado puesto de manifiesto que se produce una descarga de dopamina en el *nucleus accumbens* en el preciso instante en que las ratas inician un cambio de comportamiento que termina cuatro segundos después al presionar la palanca.

Liberación de dopamina en el nucleus accumbens instada por un tren de estímulos



Canibalismo

Otra práctica alimentaria considerada hoy tabú es la del canibalismo. Pero no lo fue en la prehistoria, según lo demuestra la antropología molecular. Revela ésta la existencia de un polimorfismo de la proteína priónica humana en el resto aminoacídico 129. En efecto, la heterocigosidad en el gen de la proteína priónica humana (*PRNP*) confiere cierta resistencia a las patologías priónicas (entre ellas, la de Creutzfeldt-Jakob inducida y esporádica). Se ha comprobado a propósito del kuru, enfermedad priónica de los altiplanos de Papua Nueva Guinea y transmitida durante las fiestas endocaníbales en las que se consumía el cerebro del difunto.

Los supervivientes de mayor edad de la epidemia de kuru, que han sufrido múltiples exposiciones en celebraciones funerarias, son, en notable contraste con los jóvenes no expuestos, predominantemente heterocigotos para *PRNP* 129. El kuru impuso una fuerte selección equilibradora, eliminando esencialmente los homocigotos para *PRNP* 129. Partiendo de ese dato, se emprendió recientemente un análisis de la diversidad haplotípica del gen de la proteína priónica, así como de su frecuencia alélica, a escala mundial. La diversidad mundial de haplotipos de *PRNP* y frecuencias alélicas codificadoras sugieren que la fuerte selección equilibradora en este locus ocurrió durante la evolución de los humanos modernos. A nuestros antepasados no les daban asco los sesos.



Madre coraje

La investigación surge a menudo de una mera inquietud intelectual. En Leslie Gordon ha habido más. Aunque médica de formación, no sabía nada de la progeria, una enfermedad de pronóstico fatal que se caracteriza por el envejecimiento prematuro, hasta que le diagnosticaron la patología a su hijo Sam. Desde ese día, hace cinco años, Gordon, neuroinmunóloga de la Universidad de Tufts en Boston, ha venido conjugando la investigación básica de la progeria con la observación de la evolución diaria de sus efectos. Con la colaboración de su equipo acaba de descubrir la mutación genética causante del síndrome de Hutchinson-Gilford de la progeria.

Leslie Gordon

Y la Biblia tenía razón

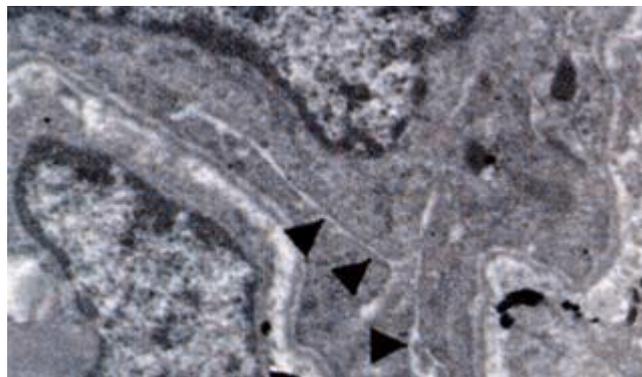
A lo largo de los últimos diez años la cronología de la edad de Hierro en el Próximo Oriente ha venido siendo objeto de debate. Entraban en cuestión episodios descritos en la Biblia y en textos egipcios. No resultaba fácil, en concreto, fechar numerosos artefactos y estratos de ocupación de las ciudades de ese periodo. De manera más ceñida negábase que David y su

hijo Salomón, fundadores del reino de Israel, fueran los creadores de la poderosa nación que describe la Biblia; más bien, se afirmaba, se trataba de figuras míticas. El trabajo arqueológico realizado en Tel Rehov, un yacimiento importante de la edad de Hierro en el norte de Israel, apoya la opinión tradicional: Salomón fue un personaje real y reconocido. Las dataciones por radiocarbono indican que la edad de Hierro se extendió en Oriente Próximo desde el siglo x al ix antes de Cristo.

Esclerosis múltiple

La esclerosis múltiple, que afecta a un millón de personas en todo el mundo, somete a los pacientes, desde la juventud, a repetidos ataques inmunitarios en el cerebro y la médula espinal. Rasgos distintivos de esta patología son la desmielinización generalizada y la pérdida axonal. Aunque los efectos varían según el punto interesado del sistema nervioso, la parálisis, ceguera, pérdida de la sensación y falta de coordinación se encuentran entre los tipos de devastación promovidos por un sistema inmunitario que se ha desbocado. Hasta ahora, el tratamiento se había centrado en el bloqueo de los ataques autoinmunitarios y en paliar los daños colaterales; la terapia celular experimental se había limitado al trasplante de células formadoras de mielina, o de sus precursoras, en los focos de desmielinización. Se acaba de dar un paso importante. Tras establecer cultivos de células madre adultas, se han inyectado en un modelo animal de esclerosis múltiple —encefalomielitis autoinmunitaria experimental (EAE)— por vía intravenosa y por vía intracerebroventricular. En ambos casos, las células donantes penetraron en zonas desmielinizadas del sistema nervioso central y se diferenciaron en células cerebrales maduras. En el interior de esas zonas aumentaron los precursores de oligodendrocitos, con axones remielinizantes. Además, en los animales trasplantados

se observó una reducción significativa de astrogliosis y un descenso notable en la cuantía de desmielinización y pérdida axonal. Las células precursoras adultas promueven la remielinización multifocal y la recuperación funcional. De momento, pues, en los ratones, la lesión puede restañarse parcialmente mediante células nerviosas precursoras, liberadas en el torrente sanguíneo o en el líquido raquídeo.



Precursores neurales localizados a través de la barrera hematoencefálica y en estrecho contacto con las células endoteliales

Entomofagia

No parece que la repulsión que nos provocan los insectos sea congénita. La entomofagia constituye un fenómeno de larga historia y extensión geográfica. Entre los aztecas existía incluso una verdadera cocina especiali-

zada. Se han documentado un centenar de países que todavía introducen esos artrópodos en su dieta. Por orden de variedad destacan los coleópteros, de los que se consideran comestibles unas 443 especies; de los himenópteros, 307; de los ortópteros, 235 especies, y de los lepidópteros, 228 especies.

Pruebas de paternidad

“Sabio es el padre que conoce al hijo de su sangre”, decía Shakespeare. De acuerdo con un postulado central de la genética del comportamiento, el cuidado de las crías depende del grado de parentesco. Pero no hay pruebas con-

tinentes de ese aserto. El macho del pez *Lepomis macrochirus* podría aportar un modelo donde someterlo a prueba. Este pez forma colonias en lagos de Estados Unidos, México y Canadá. Durante la estación reproductora los machos compiten por las hembras con intensidad tal, que han surgido en el curso de la evolución dos trayectorias de comportamiento distintas: Los llamados “progenitores” defienden los puntos de anidación, atraen a las hembras y se ocupan luego del cuidado de los huevos y de los alevines eclosionados. Los conocidos por “burladores” roban las fecundaciones de los progenitores, ya sea introduciéndose raudamente (“serpenteantes”) en el nido en el momento crítico de la eclosión, ya sea imitando a las hembras para desconcertar al macho progenitor con la impresión de que ha atraído a la vez a dos hembras. El merodeo de los “burladores” aporta, pues, una clave que los machos progenitores pueden utilizar como guía de su paternidad. Pero cuentan, además con una segunda clave. Pueden asegurarse de su paternidad a través de señales odoríferas transportadas por el agua.



MARTIN R. GROSS

Colonia de *Lepomis macrochirus* en el lago Ontario

Asociación de malhechores

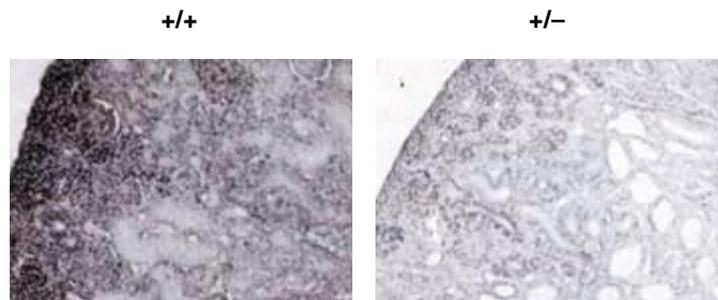
Muchas enfermedades neurodegenerativas se caracterizan por la formación de inclusiones intraneuronales que contienen fibrillas y proteínas poliméricas. Las fibrillas tau constituyen, por ejemplo, las marañas neurofibrilares distintivas de la enfermedad de Alzheimer; las fibrillas de alfa-sinucleína son los componentes principales de los cuerpos de Lewy, el signo patológico que define a la enfermedad de Parkinson. Se desconocía que hubiera entre ellas una mutua interacción. En cultivo conjunto, se ha demos-

trado que la alfa-sinucleína insta a la proteína tau a que forme fibrillas. La importancia *in vivo* de estos hallazgos se funda sobre la presencia concurrente de inclusiones filamentosas amiloides de alfa-sinucleína y tau en humanos, en ratones transgénicos que expresan alfa-sinucleína humana en las neuronas y en oligodendrocitos de ratones bigénicos que expresan la alfa-sinucleína de tipo humano silvestre y una tau mutante. Las interacciones entre alfa-sinucleína y tau pueden, pues, promover su fibrilación mutua e instar la formación de inclusiones patológicas en las enfermedades neurodegenerativas humanas.

¿Gen anti-teste o pro-teste?

Los testes masculinos y los ovarios femeninos surgen, durante la embriogénesis, a partir de una misma gónada, bipotencial. El desarrollo anormal de los testes, con resultado de esterilidad, constituye el rasgo distintivo de la hipoplasia adrenal congénita (HAC) del varón. Se trata de un síndrome asociado al cromosoma X, que cursa con mutaciones en cierto receptor nuclear, el DAX1. Para investigar la patología se ha tomado por modelo experimental los ratones. De los resultados obtenidos se infieren funciones contrapuestas del DAX1 en el desarrollo de las gónadas. Los ratones macho adultos que adolecen de deficiencia de DAX1 muestran una patología similar a la de los pacientes humanos de HAC. Pero se ha llamado también al DAX1 gen “anti-teste” porque la sobreexpresión en ratones decanta la determinación sexual de la hembra. La investigación reciente abona la existencia de un DAX1 “pro-teste” en el desarrollo precoz de la gónada. Los testes de ratones deficientes en DAX1 eran de menor

tamaño que los de la estirpe silvestre, con una formación incompleta de los cordones del teste, que son los primeros rasgos estructurales que permiten distinguir los testes de los ovarios y son los precursores de los túbulos seminíferos. La influencia de DAX1 en la expresión génica podría aportar ulterior información sobre el desarrollo y degeneración testicular, así como sobre la esterilidad.



RETROSPECTIVA

Franz Anton Mesmer (1734-1815)

El “magnetismo animal” y los orígenes de la psicoterapia

José María López Piñero

El antecedente inmediato de la psicoterapia en sentido estricto fue la doctrina de Franz Anton Mesmer sobre el “magnetismo animal”. Formulada en un período como la Ilustración, exaltador de la razón y la ciencia experimental, sus bases creenciales y especulativas fueron presentadas como un saber sistemático, asociando elementos empíricos y deformaciones de importantes teorías científicas. Su vigencia se mantuvo desde el último cuarto del siglo XVIII hasta mediados del XIX, a pesar de ser rechazado repetidas veces por la medicina científica. Entre sus seguidores figuraron numerosos curanderos y charlatanes, pero también personas honestas, algunas de vasta cultura y con elevada capacidad para la observación psicológica. Por otra parte, hubo personalidades médicas que se interesaron por sus posibilidades y propusieron a las instituciones científicas un examen desprovisto de prejuicios. Sin embargo, los estudios oficiales, especialmente los célebres informes de las comisiones nombradas por las Academias de Medicina y de Ciencias, de París (1784), dieron lugar a encendidas polémicas, contribuyendo a aumentar la confusión en torno al tema. La relación entre el “magnetismo animal” y la medicina científica fue una sucesión de tentativas para asimilar el núcleo aprovechable existente tras una compleja estructura de hipótesis especulativas y hechos supuestamente extraordinarios. Esta labor, en la que fracasaron reiteradamente las grandes instituciones médicas, fue realizada por el portugués José Custódio de Faria con el concepto de “sueño lúcido” (1819) y por el británico James Braid con el de “sueño nervioso” (1843), ofreciendo explicaciones psicológicas de los fenómenos “magnéticos” que iniciaron una nueva imagen del ser humano, sobre todo acerca de las relaciones psicosomáticas.

Nacido en la aldea de Itznang, junto al lago de Constanza, Franz Anton

Mesmer era hijo de un cazador al servicio del obispo local. Tras realizar estudios de filosofía, teología y derecho, cursó medicina en Viena, doctorándose con la tesis *De planetarum influxu in corpus humanum* (1766). La capital del Imperio Austríaco era entonces uno de los escenarios centrales de la medicina europea. A la llamada *Alte Wiener Schule*, dirigida por el neerlandés Gerhard van Swieten, pertenecían destacadas figuras como Anton de Häen, adelantado de la termometría clínica, Anton Stoerck, autor de importantes trabajos farmacológicos, y Joseph Leopold Auenbrugger, inventor de la percusión del tórax. El matrimonio con una viuda muy rica permitió a Mesmer tener una lujosa mansión a orillas del Danubio, que frecuentaban las grandes personalidades del mundo cultural vienés, entre ellas, los músicos Mozart, Haydn y Gluck. En su tesis doctoral defendió la existencia de un fluido magnético universal, reformulando una doctrina de larga tradición sobre la base de una interpretación peculiar de las ideas de Newton sobre el “éter”



FRANZ ANTON MESMER

y la gravitación: “Se mueve con la máxima celeridad, actúa a distancia, se refleja y refracta, como la luz, es inactivado por algunos cuerpos y cura directamente las enfermedades nerviosas e indirectamente todas las restantes”. Resulta lógico que encabezase el grupo de médicos que se interesaron por las experiencias sobre las propiedades curativas de los imanes realizadas en 1774 por Maximilian Hell, director del Observatorio Astronómico de Viena. Los espectaculares resultados terapéuticos que Mesmer obtuvo con láminas y anillos magnéticos fueron el punto de partida de su teoría de “un magnetismo animal, esencialmente distinto del propio imán”, que fue acogida con escepticismo por el propio Hell, el físico Jan Ingenhousz y el médico von Stoerck. Sin desanimarse, continuó realizando pruebas y, en 1775, dirigió una comunicación sobre su “descubrimiento” a todas las academias médicas de Europa, que solamente contestó la de Berlín, calificándolo de “ilusorio”. En los dos años siguientes viajó por Centroeuropa y se puso en relación con el sacerdote católico Johann J. Gassner, famoso por sus “curas por exorcización”, de cuyas prácticas tomó algunos elementos relativos a los tocamientos y los pases, aunque interpretando sus efectos como acciones del magnetismo animal.

De regreso a Viena, Mesmer gozó momentáneamente de un gran prestigio, que terminó a causa de un pleito en torno a la presunta curación de la ceguera de la compositora Theresia Paradies. En enero de 1778 se trasladó a París, donde publicó su *Mémoire sur la découverte du magnétisme animal* (1779), principal obra en la que resumió los principios teóricos y las aplicaciones terapéuticas de su método. En la capital francesa tuvo muy pronto una nutrida clientela, especialmente de origen aristocrático, pero al no conseguir el reconocimiento académico se retiró a Spaa en 1781. Tres años después volvió a París reclamado por sus seguidores, que abrieron una sus-

1. GRABADO SATIRICO DEL FOLLETO
L'antimagnétisme (1784), una de las numerosas burlas que recibieron los aspectos más pintorescos del mesmerismo.

cripción para ofrecerle apoyo económico y fundaron en varias ciudades las llamadas “Sociedades de la Armonía”, nombre alusivo al “armónico equilibrio” al que conducía el tránsito del “fluido magnético” a través del sistema nervioso, tras producir un estado de “crisis”, con fuerte agitación o pérdida de la conciencia. El éxito de Mesmer fue de nuevo extraordinario, llegando a estar sus salones repletos de enfermos y de curiosos. Las instituciones oficiales no pudieron desconocer por más tiempo su presencia y, en el mismo año 1784, dos comisiones fueron encargadas de emitir informes sobre el magnetismo animal: una compuesta por cuatro profesores de la facultad de medicina y cinco miembros de la Real Academia de Ciencias y otra nombrada por la Real Sociedad de Medicina. No participó Mesmer, que consideró inaceptables sus planes de trabajo.

La primera tenía como objetivos comprobar la existencia del fluido y verificar, en el caso de que existiera, su acción sobre los seres vivos. Tras minuciosas pruebas, en las que sus mismos componentes fueron sometidos a “magnetización”, llegó a la conclusión de que “nada prueba la existencia del fluido magnético animal”, atribuyendo a la imaginación los efectos observados durante los tratamientos mesméricos. Igualmente negativo fue el informe de la segunda comisión, cuya tarea consistía en observar los resultados terapéuticos del método. Dividió los enfermos en un grupo con afecciones “evidentes y conocidas”, otro con “molestias ligeras y vagas” y un tercero de “melancólicos”. Concluyó que ninguno de los enfermos del primer grupo había sido curado ni “notablemente aliviado”, tras un tratamiento de cuatro meses, y que, en cambio, varios de los otros dos declaraban “encontrarse mejor”, aunque se trataba de fenómenos subjetivos imposibles de controlar, sin que pudiera atribuirse al magnetismo animal ningún efecto terapéutico específico. Uno de los comisionados, el célebre botánico Gaspard Laurent de Jussieu, no quiso firmar este informe y publicó uno particular en el que, compartiendo muchos aspectos, consideró insuficiente invocar la imaginación para explicar ciertas curaciones observadas y afirmó que correspondía a la ciencia descubrir



y hacer aprovechable la “parte de verdad enmascarada por falsas hipótesis y especulaciones”.

Los informes de ambas comisiones supusieron el comienzo del descrédito de Mesmer. Apoyadas en su autoridad, aparecieron duras críticas, sobre todo de los aspectos más pintorescos de la “magnetización”, y la polémica que motivaron no consiguió impugnarlos. En la prensa y en el teatro se sucedieron las burlas y las bromas. Finalmente, el fracaso de Mesmer al tratar algunos personajes célebres, como Enrique de Prusia y la princesa de Lamballe, le obligó a abandonar Francia. Tras viajar por varios países y volver fugazmente al París del Consulado, fijó su residencia en Meersburg, otra localidad junto al lago de Constanza, donde murió.

El mismo año en el que los informes académicos desautorizaron el magnetismo animal, un seguidor de Mesmer que

no era médico, Armand J. de Chastenet, marqués de Puységur, presentó a la “Sociedad de Armonía” un fenómeno que modificó profundamente el mesmerismo. Había comenzado a “magnetizar” a los servidores y aldeanos de sus posesiones y en uno de ellos se produjo un estado parecido al sueño, pero distinto del natural, ya que hablaba y caminaba como si estuviera despierto, obedeciendo automáticamente las órdenes del magnetizador. Por su semejanza con el sonambulismo espontáneo, le dio el nombre de “sonambulismo provocado”. En sus *Mémoires pour servir à l’histoire du magnetisme animal* (1784-85), Puységur afirmó que los “sonámbulos provocados” tenían cualidades extraordinarias para la predicción de acontecimientos futuros, la visión con los ojos cerrados y a través de los cuerpos opacos y, sobre todo, para el diagnóstico de las enfermedades propias y ajenas, per-



2. SALON DEL DOMICILIO DE MESMER en París donde aplicaba la “magnetización” (ca. 1780).

mitiendo la elección de los remedios adecuados en cada caso. La actividad de Puysegur condujo a una gran expansión del mesmerismo. Las “Sociedades de la Armonía” se extendieron por toda Francia y los países vecinos, las “curaciones” se multiplicaron y creció el número de seguidores y el de publicaciones. En su *Mémoire sur la découverte des phénomènes que présentent la catalepsie et le somnambulisme* (1787), Jacques H. D. Petetin, destacado médico de Lyon que hasta entonces se había opuesto al magnetismo animal, relacionó la histeria con el sonambulismo y describió cuatro formas de “catalepsia histérica”. Defendió que el “fluido eléctrico elaborado por el cerebro” se acumula en el epigastrio y otras zonas corporales, produciendo una sensibilidad tan viva que los “catalépticos” pueden ver, oler, oír y gustar por el epigastrio y también por los dedos de las manos y de los pies. Eclipsado momentáneamente por la Revolución Francesa, el magnetismo animal volvió a resurgir durante los dos primeros decenios del siglo XIX. En 1807 apareció una nueva obra de Puysegur en 1808, otro libro de

Petin y en 1813, la *Histoire critique du magnétisme animal* de Joseph P. F. Deleuze, botánico y bibliotecario del *Musée d’Histoire Naturelle de Paris*. Admitiendo sus supuestos básicos, Deleuze intentó una valoración del magnetismo animal basada en los hechos y ajena a la especulación. Ofreció una exhaustiva revisión que demuestra que la mayoría de los fenómenos del hipnotismo fueron ya observados por los magnetizadores.

Aunque las obras de Faria y de Braid fueron puntos de partida de la psicoterapia científica moderna, el magnetismo animal ha pervivido hasta la actualidad en manos de curanderos y en productos del peor consumismo, como las pulseras y cruces magnéticas o los artificios para “magnetizar” el agua. Por otro lado, ha tenido numerosas derivaciones “espirituales”, entre las que destacan la secta religiosa *Christian Science* y el espiritismo.

La secta de la *Christian Science* fue fundada por la norteamericana Mary Baker Eddy (1821-1910), inválida de personalidad inestable que conoció a tra-

vés de un relojero las curas “magnéticas”. Las asimiló desde una perspectiva radicalmente religiosa, elaborando una doctrina según la cual la creencia en la materia oculta a los hombres el amor infinito de Dios, única fuerza contra todos los males, entre ellos, las enfermedades, que son meros errores consecutivos a la falta de fe. También el espiritismo partió del mesmerismo, considerando que un “magnetizado” podía ser un intermediario (*medium*) para comunicarse con los espíritus. Se combinó en parte con la teosofía de Emanuel von Swedenborg, físico sueco del siglo XVIII, que defendía la influencia de los ángeles y demonios sobre la vida humana, y con la interpretación de golpes y otros ruidos misteriosos como manifestaciones de los espíritus, que condujo a pretender comunicarse con ellos mediante los golpes y movimientos de una mesa sobre la que apoyan las manos de los “creyentes” sentados a su alrededor. A la doctrina espiritista, que fue principalmente sistematizada en *Le livre des esprits* (1852), de “Allan Kardec”, seudónimo del francés Hippolite Léon Rivail, se han adherido personas de todas clases, entre ellas, destacados científicos, juristas y escritores.

Plasticidad neural

Cambios en el número, tipo y función de las conexiones del sistema nervioso, en la morfología y función de la glía y en las interacciones neurona-glía son la base de la adaptación de los vertebrados a condiciones ambientales y fisiológicas cambiantes. Agrupados bajo la denominación “plasticidad neural”, estos cambios subyacen bajo el aprendizaje, la respuesta a la deshidratación o la reparación de lesiones

Manuel Nieto Sampedro

El término plasticidad fue introducido en 1890 por el psicólogo William James para describir la naturaleza modificable del comportamiento humano. En los últimos años del siglo XIX, Santiago Ramón y Cajal propuso que estas modificaciones comportamentales tendrían seguramente un sustrato anatómico. Sin embargo, tras la muerte de Cajal se adoptó una forma rígida de ver el sistema nervioso central (SNC) adulto. Suponíase que, una vez terminado su desarrollo, la anatomía del SNC se mantenía inalterable, salvo los procesos degenerativos.

Frente a esa corriente de opinión general, Liu y Chambers demostraron en 1958 el fenómeno de formación de brotes axonales en el SNC adulto. En los tres últimos decenios se han acumulado pruebas abrumadoras de que el sistema nervioso mantiene, durante toda la vida del organismo, la capacidad de modificación anatómica y funcional.

Se admite hoy que las redes neuronales que componen el sistema nervioso de los mamíferos permanecen plásticas, modificables, a lo largo del curso entero de la vida de estos organismos. Dicha plasticidad constituye una de sus adaptaciones más importantes. Englobado bajo la denominación de *plasticidad neural* (neural se refiere a neuronal y glial), el concepto está plenamente aceptado.

Ahora se trata de descubrir sus bases celulares y moleculares. Los estímulos que inducen la plasticidad neural abarcan experiencias de todo tipo, presiones ambientales, modificaciones en el estado interno del organismo o lesiones.

Neuronas y glía: una unidad funcional

Las principales clases celulares del tejido nervioso son las neuronas y las células gliales. Las neuronas, células altamente especializadas en la recepción y transmisión rápidas de mensajes, tienen un cuerpo pequeño y múltiples ramificaciones que cubren una extensa superficie, lo que permite optimizar su intercomunicación.

El cerebro humano contiene más de diez mil millones de neuronas; el cerebelo, de diez a cien mil millones. Las *sinapsis*, o contactos sinápticos, son los sitios donde una neurona transmite el mensaje o impulso nervioso a otra neurona. Una neurona típica del SNC recibe decenas de miles de contactos sinápticos, aunque las neuronas de Purkinje del cerebelo pueden recibir hasta 200.000.

Las conexiones entre neuronas dan lugar a circuitos neuronales. En buena medida, la plasticidad del sistema nervioso es *plasticidad sináptica*; concierne, pues, a la posibilidad de modificación del tipo, forma, número y función de las sinapsis y, por ende, de los circuitos neuronales. Procesos tan dispares como el

aprendizaje y la memoria, la respuesta a situaciones fisiológicas diversas (el embarazo o la sed) y la recuperación después de sufrir lesiones tienen, por base común, la plasticidad sináptica.

Pero la función del tejido nervioso sólo puede comprenderse si tomamos en consideración las otras células características de este tejido, las gliales. Desde hace tiempo se sabe que el número de células gliales decuplica el de neuronas y que la glía constituye aproximadamente la mitad de la masa del tejido nervioso.

En 1859 Rudolf Virchow descubría la glía y la describía como una suerte de cola o pegamento nervioso. Cristalizó así una imagen estática de la misma, que persistió entre neuroanatomistas y neuropatólogos a lo largo de los 100 años siguientes. Pero esa visión ha cambiado en los dos últimos decenios, en paralelo a la consideración de la función nerviosa; dominada ésta antaño por un enfoque neuronal, se contempla hoy desde la perspectiva de una unidad funcional neurona-glía, que abarca, por tanto, el desarrollo neural, la actividad nerviosa, su mantenimiento y sus manifestaciones patológicas (véase la figura 1). La idea de una unidad funcional dinámica neurona-glía, que ha experimentado un particular desarrollo en los últimos 15 años, debe su formulación explícita a Arenander y de Vellis y, más tarde, Nieto Sampedro, quienes llamaron la atención sobre ese conjunto for-

mado por una neurona y su glía asociada, que permite y potencia la función y plasticidad del mismo.

Los tipos fundamentales de glía en el SNC son la astrogλία, la oligodendrogλία y la microglía. De ellos, la astrogλία y la microglía constituyen los tipos de glía que guardan una relación más directa con la plasticidad neural.

Los astrocitos, o células astrogliales, están íntimamente asociados, por una parte, a las neuronas y, por otra, al resto del organismo. Además de constituir la envoltura de las sinapsis centrales, forman la *glia limitans* (así se llama la frontera entre el organismo y su SNC, una capa de cuerpos de astrocitos y su lámina basal asociada). A los astrocitos se debe también la barrera hematoencefálica. Sensibles a iones, potasio sobre todo, los astrocitos unen, transportan y metabolizan neurotransmisores. Hay incluso tipos

capaces de despolarizarse en respuesta a los neurotransmisores excitatorios y de conducir potenciales de acción.

Los pies terminales de la astrogλία se hallan en contacto con los vasos sanguíneos. Poseen regiones especializadas de alta conductancia que controlan el paso de nutrientes, oxígeno, vitaminas y hormonas de la sangre al tejido nervioso.

Todos los astrocitos se comunican directamente entre sí mediante uniones de intervalo ("gap-junctions"). Es muy probable que se den uniones mixtas del mismo tipo en virtud de las cuales establezcan comunicación también directa con las neuronas. De hecho, Steve Smith y su equipo han comprobado que los astrocitos se comunican entre sí y con las neuronas mediante olas de iones calcio (Ca^{2+}). El contacto de estas ondas de Ca^{2+} con las neuronas moviliza el Ca^{2+} , es decir, lo saca de sus sitios de almace-

namiento intracelular, con consecuencias fisiológicas diversas.

Para liberar glutamato los astrocitos no precisan vesículas. Esa sustancia constituye el neurotransmisor excitatorio más abundante en el SNC. Además, los astrocitos sintetizan óxido nítrico, un neuromodulador altamente difusible, que puede afectar de un modo poderoso a neuronas y glía.

Semejante elenco de propiedades confiere a los astrocitos la capacidad de vigilar sin cesar la actividad de las neuronas y de modificarla directa e indirectamente. Operan como controladores del microambiente neural, con mecanismos de retroalimentación. Entre sus misiones principales, corresponde a los astrocitos mantener estable la composición de este microambiente y adecuada para la actividad neuronal habitual. Cualquier modificación de la composición desencadena una respuesta glial compensatoria; puede ésta consistir en eliminar el exceso de moléculas neuroexcitatorias (antes de que alcancen niveles excitotóxicos) o producir factores neurotróficos que permitan el tamponamiento efectivo de la concentración de Ca^{2+} intracelular, para así evitar la apoptosis neuronal. (Llámase apoptosis a la muerte celular que forma parte del programa de desarrollo de un organismo. Se distingue de la necrosis en que produce la eliminación rápida y completa de los residuos celulares.)

Aunque se conocen bastante menos las propiedades de la microglía, se está experimentando un avance notable en la investigación sobre este tipo de célula glial, que desempeña una función esencial en la intercomunicación entre los sistemas nervioso e inmunitario.

En resumen, el tejido nervioso consta de asociaciones de grupos de neuronas y células gliales que actúan como unidades de función fisiológica. En estos conjuntos dinámicos neurona-glía, las células gliales son las controladoras fundamentales del microambiente celular en lo que se refiere a composición iónica, niveles de neurotransmisores y suministro de citocinas y otros factores de crecimiento. Ante las perturbaciones presentadas se da siempre una respuesta conjunta de ambos grupos celulares del sistema nervioso.

Renovación de sinapsis y evolución de la plasticidad neural

La expresión máxima de la plasticidad neural de un organismo se observa, durante el desarrollo, en el período de sinaptogénesis. En el curso de la misma, las sinapsis pasan por ciclos de formación y regresión.



MANUEL NIETO SAMPEDRO

1. IMAGEN MORFOLOGICA DE LA UNIDAD NEURONA-GLIA. Cuando Lafarga, Berciano y Blanco, de la Universidad de Cantabria, reconstruyeron la imagen tridimensional de un núcleo del cerebelo de la rata sumando secciones consecutivas muy finas, teñidas específicamente para glía, la imagen obtenida fue la de una neurona envuelta en una malla de delicadas prolongaciones astrocíticas (azul). Los agujeros de la malla corresponden a los sitios de contacto sináptico.

En 1941 Clark C. Speidel observó el proceso sinaptogénico en las terminaciones sensoriales del renacuajo vivo. Speidel contempló, en una misma arborización sensorial, terminales en reposo, otros en proceso de crecimiento y otros terminales en clara regresión. Con el tiempo y de acuerdo con las condiciones ambientales, algunos terminales en reposo se transformaban en conos de crecimiento; otros que estaban creciendo se estabilizaban o degeneraban. En definitiva, Speidel observó que, en el sistema nervioso en desarrollo, las sinapsis eran estructuras dinámicas.

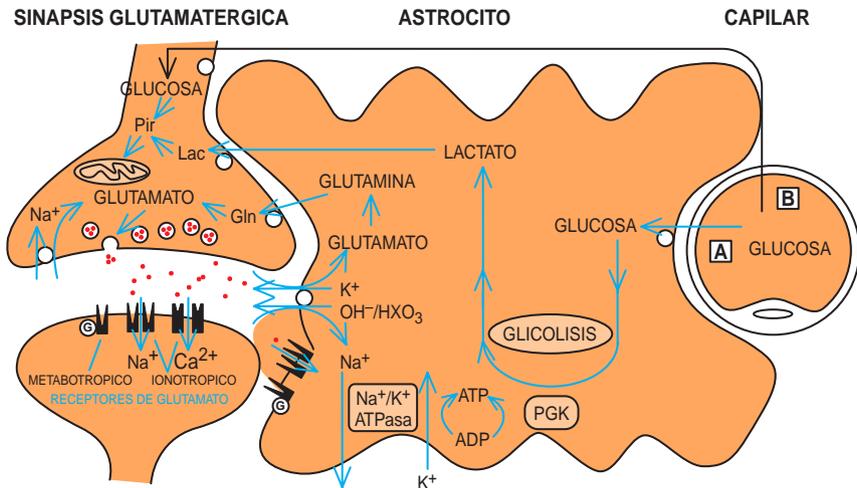
La renovación (*turnover*) de las sinapsis se mantiene en mamíferos adultos de manera más limitada, aunque suficiente para mediar cambios en su tipo, forma, número y función. La renovación de una población de sinapsis implica la ruptura de unos contactos sinápticos y su sustitución por otros nuevos. Dentro de esta población, una sinapsis individual puede desaparecer sin ser reemplazada; asimismo, puede formarse una sinapsis nueva donde antes no existía ninguna.

En el caso más general, el proceso de renovación sináptica abarca cuatro etapas: desconexión de las sinapsis; iniciación y crecimiento de nuevos terminales axonales; formación de nuevos contactos sinápticos, y maduración de las nuevas sinapsis, es decir, aparición de vesículas sinápticas y densidades pre y postsinápticas.

En cada uno de estos pasos, se sabe que la glía puede o debe intervenir activamente. Los terminales presinápticos que participan en la renovación de sinapsis surgen de axones preexistentes, en un proceso de formación de *brotos axonales* (*axon sprouts*). Dependiendo del punto de origen del brote en el axón, se distinguen varios tipos: los brotes *terminales* o *ultraterminales* son extensiones del terminal presináptico; los brotes *colaterales* surgen como una rama nueva del axón, independiente de otras terminaciones nerviosas preexistentes. Si el brote se origina como continuación renovada del muñón de un axón seccionado, se denomina brote *regenerativo*.

La formación de brotes axonales es independiente de la posible formación subsecuente de nuevas sinapsis. De hecho, en el SNC, los brotes frecuentemente degeneran y nunca llegan a establecer sinapsis. El término brote axonal designa simplemente un tipo de respuesta de crecimiento, que puede o no ser el primer paso en la formación de una nueva sinapsis.

En todo caso, el proceso de renovación de sinapsis y su importancia evolutiva están en el origen y son el eje de la plasti-



2. IMAGEN FUNCIONAL DE LA UNIDAD NEURONA-GLIA. La plasticidad del sistema nervioso sólo puede comprenderse si tomamos en consideración las funciones complementarias de los componentes celulares esenciales del tejido, o sea, neuronas, células gliales y capilares sanguíneos.

cidad neural. Un sistema nervioso con mayor capacidad de renovación de sinapsis y, por ende, con mayor plasticidad de sus circuitos neurales confiere una ventaja adaptativa al organismo, que la evolución selecciona. En este sentido, la regulación hipofisaria del estado de hidratación, del parto o la lactancia que describiremos a continuación, suministran un ejemplo claro de funcionamiento de la unidad neurona-glía, así como de las ventajas adaptativas que una renovación sináptica más rápida y eficaz confiere a los mamíferos sobre otros organismos.

Los axones secretores de la neurohipófisis se originan en las neuronas magnocelulares del núcleo supraóptico del hipotálamo y terminan en los espacios que rodean a capilares fenestrados. Aquí descargan sus productos de secreción, péptidos hormonales. Dos de estos péptidos, la oxitocina y la vasopresina, ejercen efectos muy bien caracterizados; controlan la retención de agua y la contracción de la musculatura lisa. En una rata hembra hidratada y que no está preñada ni en período de lactancia, las neuronas del núcleo supraóptico se encuentran separadas unas de otras por astrocitos. De forma similar, sus terminaciones axonales están aisladas de los capilares por los pituiticos, células astrogiales especializadas que rodean completamente estos terminales.

La privación de agua durante cuatro o más horas, la lactancia y los estadios avanzados del embarazo, así como el parto, inician la siguiente cascada de acontecimientos: (I) el retraimiento de los procesos gliales y, en consecuencia,

la aparición de contactos tanto entre los cuerpos celulares como entre las dendritas de neuronas vecinas, posibilitando el acoplamiento electrotónico entre estas neuronas; (II) la aparición de contactos sinápticos entre neuronas magnocelulares adyacentes; (III) la retracción de los pituiticos, permitiendo con ello el acceso de los terminales axonales al espacio perivascular; (IV) la sustitución de la actividad eléctrica irregular y lenta de las neuronas supraópticas por un ritmo rápido de actividad continua, con descargas ocasionales de alta frecuencia; (V) la aparición de síntesis de proteínas, en particular de las hormonas arriba indicadas y sus precursores.

Todos estos cambios ocurren concomitantemente con la respuesta fisiológica apropiada; por ejemplo, la retención de agua en los riñones o el aumento de la presión mamaria. Se trata de cambios reversibles. Además, confieren al organismo la posibilidad de sobrevivir en ambientes con humedad variable y a procrear en ellos con éxito.

Renovación experimental de sinapsis: sinaptogénesis reactiva

Los ciclos de formación y regresión sinápticos observados por Speidel durante el desarrollo del renacuajo y por otros investigadores en el sistema hipotalámico o en el núcleo rojo de mamíferos adultos son casos claros de renovación sináptica inducida por estímulos naturales. Desde principios del siglo XX diversos investigadores, entre otros Cajal y Jorge Tello, han venido proponiendo que la plasticidad opera en el sistema ner-

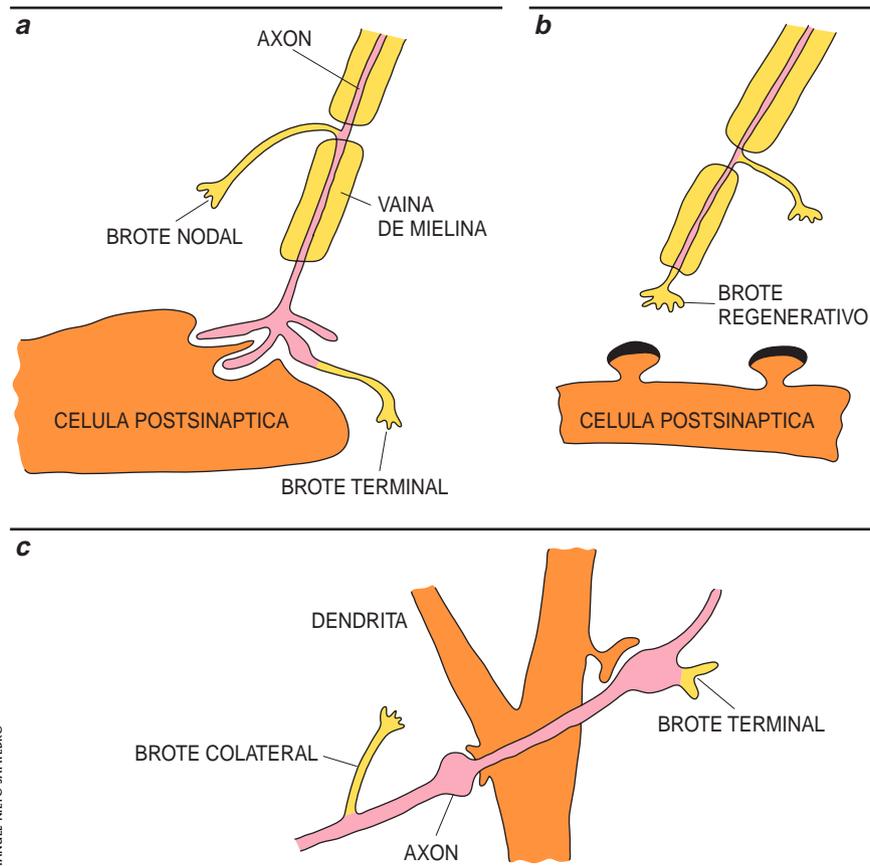
viioso, durante toda la vida del organismo. Las ventajas adaptativas resultantes de una renovación de sinapsis eficaz en las estructuras nerviosas asociadas al aprendizaje y la memoria pueden inferirse de las modificaciones conductuales que causan y de sus consecuencias evolutivas, por ejemplo, el éxito de la especie humana.

No es fácil demostrar, por vía experimental, la renovación espontánea de sinapsis en el SNC de mamíferos adultos. A diferencia de la cola del renacuajo utilizada por Speidel, el SNC de los mamíferos adultos se resiste *in vivo* a la observación microscópica repetida. En un mismo animal la observación de estructuras que implican la renovación de sinapsis ocurre en forma de “instantáneas”; las

estructuras a que aludimos son axones en proceso de degeneración junto con otros en proceso de crecimiento o estructuras postsinápticas (en particular densidades postsinápticas) desocupadas. Al no ser consecutivas en el tiempo, tales observaciones sólo pueden considerarse pruebas circunstanciales de la existencia de renovación de sinapsis.

Los registros electrofisiológicos podrían ayudarnos a detectar la renovación sináptica en el animal vivo, en condiciones adecuadas. Pero cabe tal cúmulo de interpretaciones alternativas, resulta muy raro poder llegar a una conclusión tajante. Para establecer la presencia de renovación sináptica se requieren estudios anatómicos y electrofisiológicos concomitantes.

3. BROTES AXONALES del sistema nervioso de mamíferos adultos. Los nuevos terminales son, en general, brotes derivados de axones preexistentes. Los diversos tipos de brotes axonales se clasifican de acuerdo con el lugar del axón original: los brotes nodales nacen en los nodos de Ranvier de las fibras mielinizadas. En el caso más general, estos brotes se denominan colaterales, en particular si el axón originario carece de mielina. Los brotes terminales o ultraterminales se originan en el botón terminal. La figura esquematiza su apariencia en dos casos: a) en la unión neuromuscular; c), en una sinapsis típica del SNC, formada entre un axón y una espina dendrítica. Si un axón es interrumpido por una lesión, el muñón terminal puede dar lugar a brotes regenerativos (b).



Dadas las dificultades técnicas, en los últimos decenios del siglo xx las investigaciones se centraron en los sistemas en los que esta renovación se iniciaba mediante la inducción de un estímulo experimental, para analizar luego las respuestas expresadas. La perturbación experimental que produce las respuestas más intensas y reproducibles son las lesiones. En coherencia con ello, una de las estructuras del SNC objeto de mayor atención fue el giro dentado (o *fascia dentata*) del hipocampo.

El hipocampo es una estructura cortical implicada en el aprendizaje y la memoria. De una composición anatómica bastante más sencilla que el neocórtex, predominan en esta formación bilateral dos tipos de neuronas, las piramidales y las granulares; las primeras dominan en el hipocampo propiamente dicho, en tanto que las granulares lo hacen en el giro dentado. En el hipocampo, el aferente extrínseco más abundante son axones excitatorios procedentes de la corteza entorrinal.

La destrucción unilateral de la corteza entorrinal conduce a la pérdida del 90 % de las sinapsis en los 2/3 externos de las células granulares del giro dentado ipsilateral a la lesión. Esta desafrentación masiva constituye, a su vez, la señal desencadenante de *sinaptogénesis reactiva*, que conduce a la restitución de las sinapsis perdidas a partir de brotes colaterales de los axones no afectados por la lesión. Estos brotes tienen que cruzar áreas parcialmente desafrentadas para alcanzar sus dianas sinápticas, restringidas a las ocupadas durante el desarrollo. El crecimiento de los brotes axonales reactivos guarda una correlación temporal con cambios morfológicos y moleculares en las células gliales y las neuronas granulares.

En los últimos años hemos asistido a una convergencia singular de avances espectaculares en las técnicas de análisis de imagen, en microscopía y en potencia de los ordenadores, unidos a las técnicas de biología molecular. Tales progresos han posibilitado la incorporación de marcadores proteicos fluorescentes en las sinapsis y la observación *in vivo*, a tiempo real, de estructuras pre y postsinápticas.

Etapas de la renovación sináptica: primer paso

Los estudios de sinaptogénesis reactiva, realizados en el sistema descrito u otros similares, han permitido establecer que los mecanismos de renovación de sinapsis que operan en el adulto son esencialmente los mismos que ya actuaron du-

rante el desarrollo. La mayor diferencia parece estar en que, durante el desarrollo, hay un aumento en el número neto de sinapsis, mientras que en el adulto predomina el proceso de sustitución.

La primera etapa en el proceso de renovación sináptica es la *desconexión de las sinapsis existentes*. Este paso es análogo, al menos formalmente, a la eliminación de sinapsis que se observa durante el desarrollo. En el adulto ocurren, como mínimo, dos procesos de desconexión: en uno de ellos los terminales presinápticos degeneran; este proceso tiene lugar lentamente y los estadios intermedios se pueden observar al microscopio.

El otro proceso, mucho más rápido, con una duración máxima de unas pocas horas, es reversible; sucede sin degeneración de terminales. Intervienen las células gliales, que interponen finos pseudópodos entre los elementos pre y postsinápticos. La desconexión de sinapsis a través de ese segundo proceso se asemeja al control fisiológico de la secreción de hormonas por terminales hipotalámicos, así como a la pérdida de aferentes en las neuronas axotomizadas.

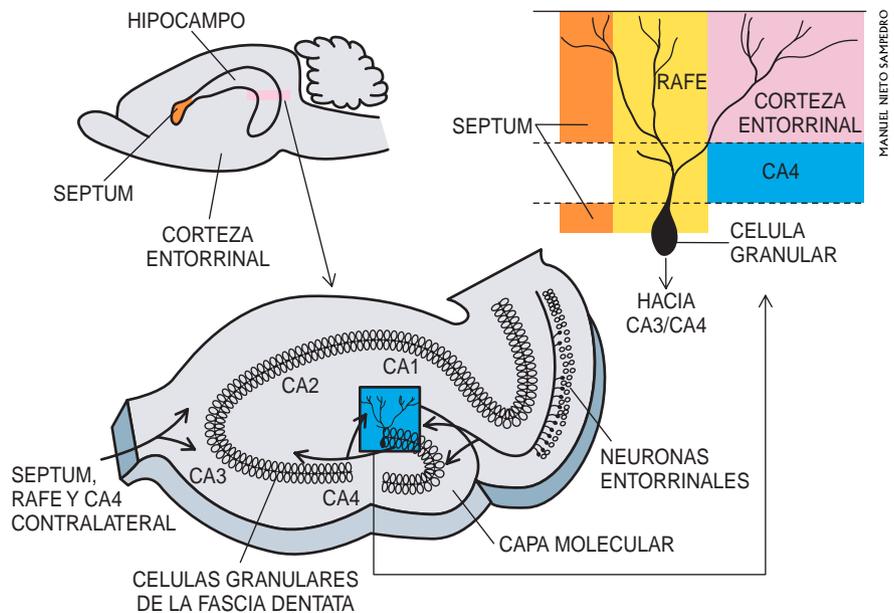
No se conocen bien los detalles moleculares de ninguno de estos dos procesos. Se sospecha que en la degeneración espontánea de terminales se halla implicada la degradación programada del citoesqueleto neuronal: los microtúbulos y neurofilamentos, cuya polimerización está, a su vez, controlada por la concentración intracelular de calcio.

Puesto que la actividad sináptica conlleva variaciones considerables en la concentración de Ca^{2+} intraneuronal y ésta interacciona con la propagación de olas de Ca^{2+} en los astrocitos, es fácil imaginar que el nivel de actividad sináptica controla la vida media de las terminaciones nerviosas.

Segunda etapa

El proceso complementario a la desconexión de sinapsis es la *formación de nuevos contactos sinápticos*. Este proceso implica el crecimiento de axones, dendritas o ambos, con la posterior diferenciación de las estructuras características de las sinapsis maduras. La formación de brotes axonales demanda dos requerimientos esenciales: la presencia de *factores de crecimiento* y la existencia de un sustrato apropiado para la adhesión y crecimiento de las nuevas fibras.

Los factores de crecimiento son sustancias que las neuronas requieren para sobrevivir y diferenciarse. Muchas sustancias ayudan a mantenerse vivas las células nerviosas; por ejemplo, la glucosa o los iones potasio. Pero la ca-



4. HISTOLOGIA DEL HIPOCAMPO. El hipocampo es una de las estructuras corticales cuya anatomía y plasticidad han merecido mayor atención por parte de los investigadores. Está formado por dos estructuras principales, el hipocampo propiamente dicho y el giro dentado o *fascia dentata*. Las células granulares predominan en el giro dentado, mientras que en el hipocampo abundan las células piramidales. Los aferentes extrínsecos más importantes proceden de la corteza entorrinal y del *septum*. La inervación del giro dentado se muestra a la derecha en mayor detalle. El área ocupada por el árbol dendrítico de las células granulares se denomina capa molecular. Más del 90 % de las sinapsis en los 2/3 externos de la capa molecular están formadas por aferentes procedentes de la corteza entorrinal. En el tercio de árbol dendrítico más cercano al soma, la mayoría de los aferentes proceden de las células piramidales del área CA4 del hipocampo. Las fibras procedentes del *septum* terminan en una capa cercana al cuerpo celular y en la llamada capa molecular externa. Los escasos aferentes que llegan del rafe se distribuyen homogéneamente por todo el giro dentado.

racterística distintiva de los factores neurotróficos estriba en que actúan a concentraciones muy bajas (del orden de 10^{-12} M) y suelen ser polipéptidos de peso molecular bastante pequeño.

Existen varias familias de factores neurotróficos, cada una de ellas específica para un grupo definido de neuronas. Así, el factor de crecimiento nervioso (NGF, de *nerve growth factor*) es el miembro más conocido de las neurotrofinas, una familia de factores esenciales para la supervivencia de las neuronas simpáticas y sensoriales. Los factores neurotróficos no inician, en general, el brote de neuritas (axones y dendritas). Se limitan a permitir que las neuronas sobrevivan y reciban instrucciones de factores específicos, responsables de la aparición de modificaciones definidas, tanto estructurales como funcionales.

Cuando se estudia la renovación de sinapsis en el adulto importan tres clases de factores instructivos: I) los fac-

tores *neuritogénicos*, que causan la aparición de brotes de neuritas; II) los factores *quimiotácticos* o direccionales, que encauzan la orientación del crecimiento de las neuritas; III) los factores que dirigen la elección de neurotransmisor, de interés en la maduración de las sinapsis.

En el estado actual de información sobre factores de crecimiento se ha generado cierta confusión, porque algunos factores desarrollan varias actividades de éstas. Así, el primer factor conocido, el NGF, descrito en 1951 por Rita Levi-Montalcini y Hamburger, es neurotrófico para neuronas simpáticas, para algunas neuronas sensoriales y para las neuronas colinérgicas del SNC. Para las neuronas simpáticas, el NGF constituye también un factor neuritogénico y quimiotáctico. La laminina, una proteína de la membrana basal de alto peso molecular, puede, por sí misma o asociada a un proteoglicano tipo heparan-sulfato, iniciar la formación de neuritas, lo mismo du-

rante el desarrollo que tras una lesión. Además, en el caso de las neuronas sensoriales, el NGF evidencia una eficacia mayor como factor neurotrófico y neuritogénico cuando está asociado a la lamina. Se conocen ya otros factores neurotróficos específicos para motoneuronas y otros tipos de neuronas del SNC.

Hasta 1982 se vino admitiendo que los factores de crecimiento eran moléculas exclusivas del sistema nervioso periférico o, como mucho, del sistema nervioso central durante el desarrollo embrionario. Sin embargo, ese mismo año Crutcher y Collins e independientemente Nieto Sampedro y colaboradores aportaron pruebas convincentes de la presencia de los factores neurotróficos en el SNC postnatal.

Por esas fechas Barde y su grupo purificaron un nuevo factor trófico, presente en cerebro porcino. Un poco más tarde, Nieto Sampedro y colaboradores demostraron la presencia de esa clase de factores en el cerebro adulto, donde probablemente median la plasticidad sináptica durante la sinaptogénesis reactiva. Desde entonces, estos resultados se han ratificado y extendido. Merced a la maduración de la neurobiología molecular se han purificado, clonado y secuenciado nuevos factores tróficos. Ha comenzado su agrupación sistemática en familias con estructuras y actividades biológicas afines.

De los avances recientes para elucidar la acción de los factores neuritogénicos el más significativo ha sido la vinculación de los modos de acción de las proteínas neuritogénicas con los de los factores tróficos. Se lo debemos a Walsh y su equipo. Descubrieron que las proteínas de adhesión intercelular con actividad neuritogénica operaban a través de

un dominio compartido con la tirosínquinasa del receptor del factor de crecimiento fibroblástico, FGF.

iones calcio

Aunque se conocen ya las líneas generales del mecanismo de acción de los factores neurotróficos, quedan por esclarecer aspectos moleculares. La unión de un factor a su receptor, una macromolécula con actividad enzimática tirosínquinasa, inicia una cadena de reacciones en la neurona que comienza con la activación, por autofosforilación, de la tirosínquinasa receptora. Se trata del primer paso en una secuencia de fosforilación de proteínas, implicadas en la regulación de la concentración intracelular del Ca^{2+} .

Debe tenerse en cuenta que la regulación exacta de los niveles de Ca^{2+} intracelular resulta crítica, pues repercute en procesos neurales básicos, frecuentemente contradictorios: metabolismo, aprendizaje y apoptosis. Bastan unas mínimas diferencias en los niveles de calcio para que la célula viva o muera. La homeostasis del Ca_2 está rigurosamente controlada por múltiples sistemas dotados de la precisión necesaria.

Volviendo a la relación entre aprendizaje, memoria y factores de crecimiento, la concentración de Ca^{2+} es el punto de confluencia de la potenciación sináptica de larga duración, LTP, y de la polimerización y organización del citoesqueleto, o sea, del crecimiento de neuritas. Una actividad neuronal normal mantiene la producción normal de factores neurotróficos; un tratamiento con niveles fisiológicos de factores neurotróficos aumenta la eficacia sináptica.

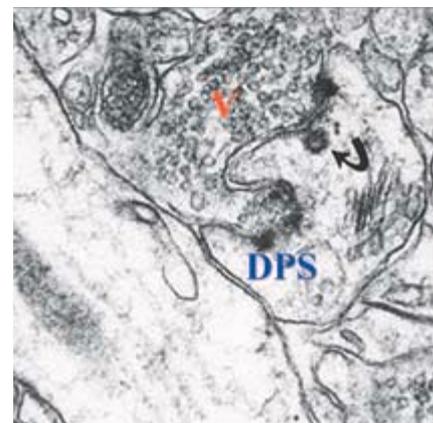
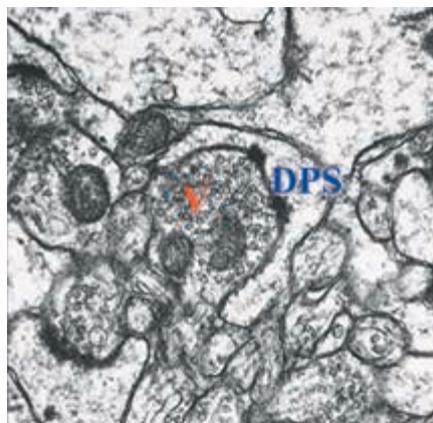
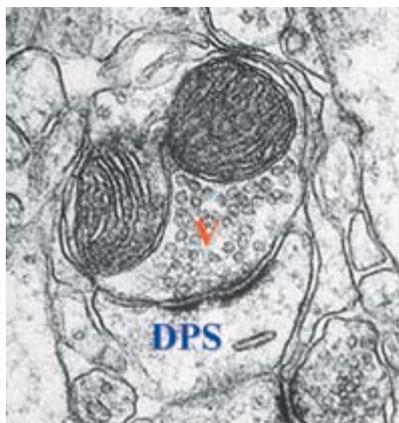
Dos son las fuentes principales de factores de crecimiento: las células postsinápticas (otra neurona, una célula muscular o una célula glandular) y las células gliales. Importa saber que la actividad biológica de los factores tróficos requiere, a menudo, la colaboración de dos de ellos al menos, de origen celular complementario.

En las células postsinápticas, la producción de factores de crecimiento viene regulada por la innervación y por su consecuencia, la actividad eléctrica. La producción trófica decae cuando culmina la innervación, para aumentar tras la denervación parcial o total. Ello explica por qué en el SNC los brotes axonales sólo crecen hasta distancias cortas y por qué, cuando se facilita su crecimiento hasta distancias más largas, los terminales no se adentran en el tejido del SNC: después de una lesión, los brotes axonales de origen local repueblan rápidamente los sitios postsinápticos vacantes, deteniendo la producción de factores de crecimiento por las células desaferentadas.

Veamos qué acontece con la glía, la otra fuente principal de factores de crecimiento. Tras una lesión de la corteza entorrinal, el curso temporal de la astrocitosis en el hipocampo mantiene una estrecha correlación con el curso temporal del aumento de los factores neuritogénicos en esta estructura, así como con la cinética de neuritogénesis de las fibras comisurales.

Hasta hace muy poco, sólo podían obtenerse datos indirectos sobre las células productoras de factores y las células diana de la acción de estos péptidos. Se recababan a través de experimentos sencillos, en los que se examinaba por un lado, *in vivo*, la anatomía de la respuesta celular y por otro, *in vitro*, la producción de factores de crecimiento. En la actualidad, sin embargo, tras el clonaje de muchos factores tróficos y de sus receptores, se puede comprobar directamente

5. LOS COMPONENTES MAS CARACTERISTICOS de las sinapsis maduras del hipocampo de mamíferos adultos son las densidades postsinápticas (DPS) en dendritas y soma y las vesículas presinápticas (V) en los terminales axonales.



su lugar de producción y acción, mediante experimentos de hibridación *in situ*.

Etapa final

La etapa final de la renovación de sinapsis corresponde a la *maduración de los nuevos contactos sinápticos*. En la unión neuromuscular, la agrina, proteína de la membrana basal, induce la agrupación de los receptores del neurotransmisor acetilcolina en la membrana postsináptica. Además, después de axotomizar las neuronas motoras, los componentes de la membrana basal del músculo previamente inervado pueden, por sí solos, acotar el sitio preciso donde los terminales regenerativos van a formar los nuevos contactos. En este caso, la membrana basal del músculo dirige también la formación y diferenciación de uniones neuromusculares maduras, con aparición de vesículas presinápticas y de plegamientos postsinápticos.

El sistema nervioso central carece de lámina basal propiamente dicha. Pero la agrina y los abundantes proteoglicanos extracelulares podrían desempeñar un papel análogo, organizando la formación de nuevas sinapsis. De hecho, el cerebro contiene moléculas solubles capaces de inducir la aparición de características postsinápticas en la membrana basal del músculo.

Las estructuras más arquetípicas de una sinapsis madura en el SNC son los paquetes de neurotransmisor, las vesículas presinápticas de los terminales axonales y las densidades postsinápticas (DPS) en las espinas dendríticas.

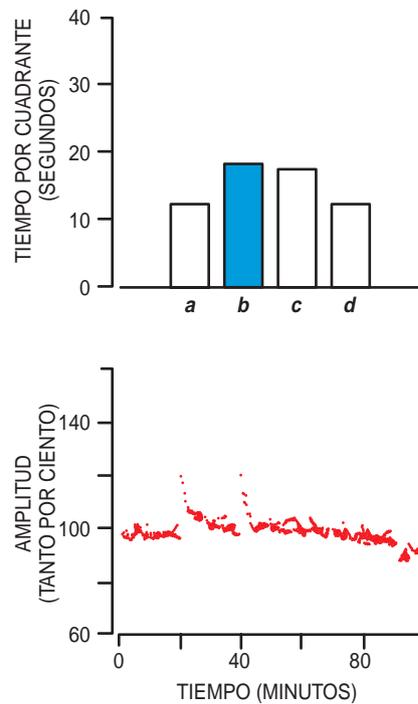
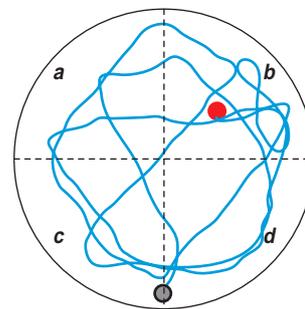
Cuando observamos al microscopio electrónico el SNC adulto, aparecen resaltadas las DPS. Estas estructuras subsinápticas muestran, durante la renovación de sinapsis, el dinamismo de las sinapsis a las que pertenecen. Según el lugar que ocupe en el SNC, cuando una sinapsis pierde su componente presináptico la DPS correspondiente se conservará o desaparecerá a las pocas horas de la deafferentación.

Lo mismo que las sinapsis, las DPS se hallan implicadas en un ciclo de renovación, cuyos estadios intermedios se aprecian al microscopio electrónico. Uno de estos estadios es una DPS con perforaciones e indentaciones múltiples, que probablemente se degrada en pequeños fragmentos, cada uno de los cuales originará una nueva espina dendrítica y, tal vez, una nueva sinapsis.

Señales muy breves causan efectos duraderos

La renovación sináptica podría desempeñar un papel clave en los procesos de

6. LA POTENCIACION DE LARGA DURACION (LTP) en el hipocampo ocurre concomitantemente con el aprendizaje. La ilustración recoge los resultados de un ensayo con los animales de experimentación entrenados a nadar en una piscina circular llena de una solución acuosa opaca. Para descansar deben encontrar la plataforma sumergida (*arriba, en rojo*). Las trayectorias seguidas por los animales (*línea irregular, arriba*) se registran con una cámara de televisión acoplada a un ordenador que calcula el tiempo que el animal permanece en cada cuadrante (*histograma central*). Si la plataforma se retira, los animales entrenados nadan predominantemente en el cuadrante donde la plataforma solía estar (*izquierda*). Los animales a los que se ha implantado una cánula que infunde intraventricularmente un antagonista del ácido N-metil-D-aspartico no parecen aprender, a juzgar por la naturaleza no dirigida de sus trayectorias de natación. La falta de aprendizaje se refleja en que nadan tiempos equivalentes en los cuatro cuadrantes. Las ratas entrenadas que han aprendido la localización de la plataforma (*abajo*), presentan LTP en la proyección entorrinal al giro dentado. El antagonista D,L-APV (5-aminofosfovalerato) bloquea la inducción de LTP.



aprendizaje y memoria. En ambos, las pruebas experimentales y la propia historia personal nos dicen que los efectos de estímulos de muy corta duración pueden persistir largo tiempo. Percepciones que duraron segundos o décimas de segundo en un momento de nuestra vida se recuerdan muchos años más tarde.

La formación de sinapsis y su renovación constituyen el engrama, o registro neural de larga duración. Las cuestiones principales del aprendizaje y la memoria son los mecanismos de su formación y modificación, o sea, la traducción de un estímulo breve en un registro duradero modificable. El estímulo que inicia la renovación natural de sinapsis es una estimulación fisiológica, eléctrica, repetida, que activa una *sinapsis hebbiana*. El mismo proceso que refuerza la eficacia de esa sinapsis, debe traducirse en un cambio morfológico en un momento posterior. Esta opinión es simplemente una preferencia personal, que me parece razonable. Propuesta ya por Cajal a princi-

pios del siglo XX, la comparten ahora numerosos investigadores.

La “sinapsis hebbiana” se llama así en honor de Donald Hebb. En 1949, Hebb postuló que una sinapsis que se usa repetidamente, se refuerza, adquiere mayor eficacia. Así reforzada, su umbral de estimulación desciende, es decir, para ser activada la sinapsis necesita estímulos de menor intensidad que los necesarios originalmente; o, recibiendo el mismo estímulo, produce una respuesta de mayor amplitud.

En 1973 Bliss y su equipo acometieron registros electrofisiológicos de neuronas del giro dentado del conejo estimuladas repetidamente a través de la corteza entorrinal. Descubrieron cambios sinápticos acordes con los postulados por Hebb. Denominaron a ese proceso potenciación de larga duración (LTP, *long term potentiation*). Contamos ya con un arsenal de pruebas que asocian con la LTP el mecanismo de almacenaje de algunos tipos de memoria, particularmente en el hipocampo. Otras sinapsis de lugares del

SNC diferentes, así como sinapsis inhibitorias, pueden potenciarse también. Por fin, parece muy probable que la LTP constituya uno de los primeros pasos en la renovación de sinapsis.

Bases bioquímicas de la LTP

La LTP se induce convenientemente mediante la activación simultánea de una población de sinapsis a frecuencias entre 20 y 200 hertz. Esta estimulación tetanizante aporta el requerimiento esencial de Hebb: actividades concomitantes pre y postsinápticas. La fuerte despolarización de la neurona postsináptica ocurre en un momento en el que aún

queda en la sinapsis una concentración del neurotransmisor liberado, suficiente para actuar sobre los receptores postsinápticos.

En el hipocampo, las sinapsis capaces de potenciación son excitatorias y glutamatérgicas. Utilizan, pues, el glutamato como neurotransmisor. El glutamato liberado en los terminales axonales actúa sobre dos tipos de receptores coexistentes en las espinas dendríticas: los de tipo AMPA (que responden preferentemente al agonista AMPA) y los de tipo NMDA (que responden preferentemente al agonista NMDA, N-metil-D-aspartato).

En la transmisión sináptica habitual, la llegada de un potencial de acción al terminal axonal induce la liberación de glutamato; éste al actuar sobre los receptores postsinápticos de tipo AMPA provoca el paso de corriente postsináptica despolarizante a través de canales de Na^+ . Los receptores tipo NMDA, por el contrario, contribuyen muy poco a la despolarización postsináptica, porque en el potencial de reposo de la membrana el canal asociado a este receptor se encuentra bloqueado por iones Mg^{2+} . Sin embargo, cuando se producen estímulos repetidos que despolarizan la membrana postsináptica, el Mg^{2+} se disocia del receptor de NMDA que, libre, facilita el paso a iones Ca^{2+} y Na^+ . Por tanto, el receptor de tipo NMDA puede considerarse un detector molecular de coincidencia voltaje-dependiente, que permite la entrada de Ca^{2+} en la neurona postsináptica cuando la actividad aferente sucede en conjunción con la despolarización. Aunque se acepta que la LTP se inicia postsinápticamente, se discute la contribución e importancia de los cambios en la eficacia del aferente presináptico.

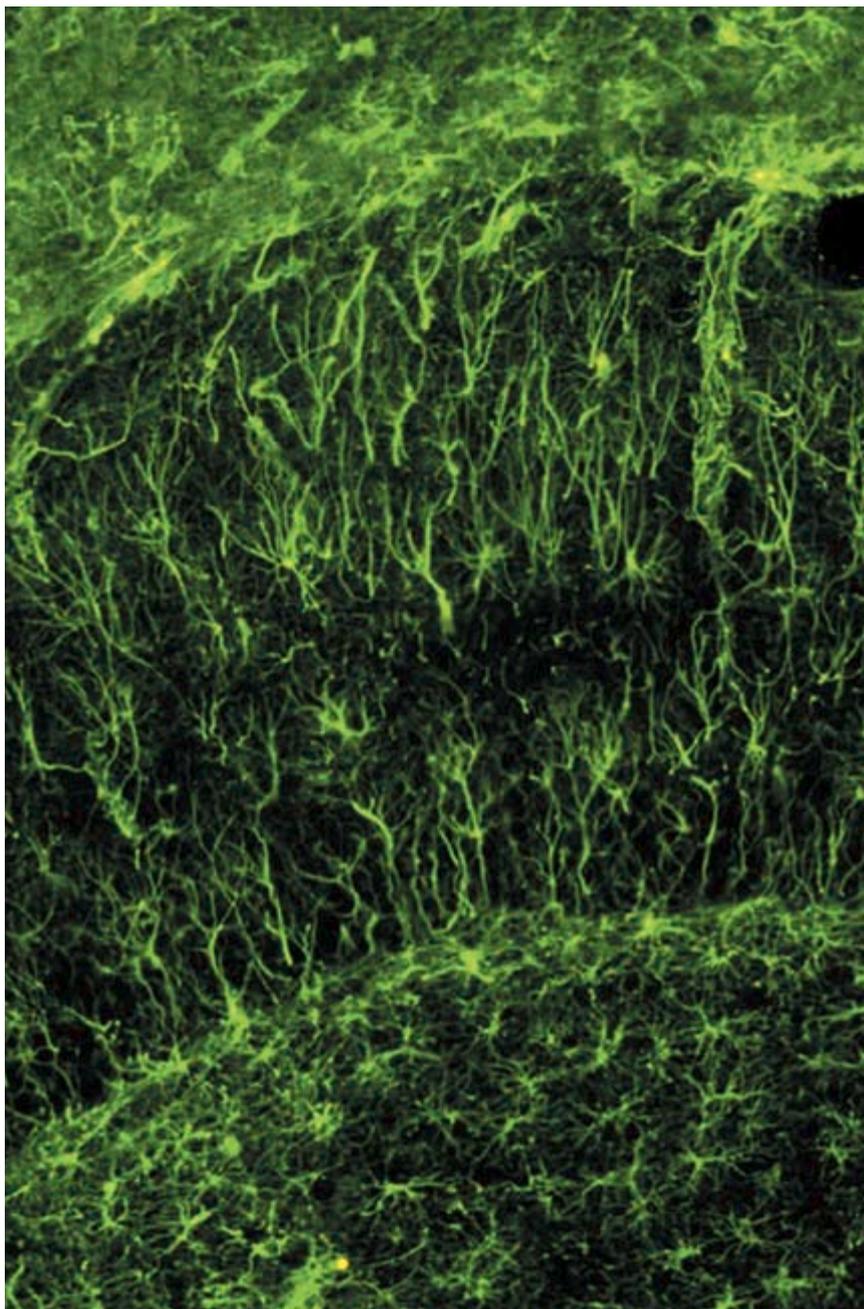
Gracias a la disposición anatómica de los circuitos neuronales del hipocampo y de los aferentes de la corteza entorrinal, un tren de estímulos corticales inicia una estimulación recurrente, repetitiva del circuito con la frecuencia adecuada para inducir LTP. Para reforzar la transmisión sináptica resultan imprescindibles la despolarización y el aumento de los niveles de Ca^{2+} intracelular postsinápticos.

Sin embargo, dos procesos subsecuentes parecen esenciales para asegurar la durabilidad de la potenciación. Primero, la regulación adicional de los niveles de Ca^{2+} intracelular, que se logra por activación de receptores metabotrópicos, que afectan al metabolismo. El segundo es la activación de reguladores de transcripción y síntesis de proteínas. En ausencia de ambos, el reforzamiento sináptico dura muy poco, menos de 1 hora.

La activación de receptores metabotrópicos desencadena cascadas enzimáticas intracelulares, mediadas por mensajeros secundarios: Ca^{2+} , AMP cíclico, GMP cíclico y productos de la degradación de fosfolípidos, como inositol fosfatos y ácido araquidónico. Cuan-

7. LOS ASTROCITOS PRESENTES

EN EL HIPOCAMPO de una rata adulta normal se denominan astrocitos en reposo. Sus múltiples prolongaciones están en contacto íntimo con neuronas y capilares sanguíneos.



do se permite que el proceso de LTP continúe sin perturbaciones, la elevada concentración intracelular de Ca^{2+} activa las proteinquinasas, enzimas implicadas en la fosforilación de proteínas. Algunas de estas proteínas son factores de transcripción que requieren la fosforilación para cumplir su función.

Entre las quinasas que han despertado mayor atención deben mencionarse la proteinquinasa C presináptica (PKC) y la proteinquinasa II-dependiente de Ca^{2+} y calmodulina (CaMKII), una proteína postsináptica abundante en las espinas dendríticas. Para la consolidación de la memoria de larga duración el factor de transcripción crítico es CREB, fosforilado por la CaMK IV en respuesta a factores de crecimiento, y por la proteinquinasa A dependiente de AMP cíclico. Por último, la investigación reciente acaba de subrayar la importancia de una tirosinquinasa, capaz de fosforilar los receptores de glutamato tipo NMDA durante la inducción de LTP.

Primero en el cerebelo, y luego en el hipocampo, se observó un fenómeno electrofisiológico equivalente, aunque opuesto a la LTP. Nos referimos a la *depresión sináptica de larga duración* (LTD, de "long term depression"). La LTD revierte la potenciación de las sinapsis sometidas a LTP mediante un mecanismo notablemente similar al que induce LTP. Necesita también una elevación en el nivel de Ca^{2+} intracelular y la estimulación prolongada (3 a 15 minutos), en este caso a bajas frecuencias (1 a 2 hertz).

Sin embargo, el aumento en la concentración de Ca^{2+} intracelular es mucho menor que tras la estimulación tetanizante. Por eso mismo, en lugar de activarse las quinasas, interviene la calcineurina, una fosfatasa con alta afinidad para Ca^{2+} , lo que conduce a la defosforilación específica de proteínas. La depresión sináptica de larga duración podría guardar relación con el olvido selectivo, un fenómeno psicológico fundamental y tema de viva discusión e interés.

Potenciación sináptica y cambios morfológicos

Aunque la correlación entre LTP, aprendizaje y variaciones en el número y morfología de las espinas dendríticas se conoce desde hace varios años, tardó en lograrse una prueba directa de dicha vinculación. Según parece ahora, los cambios morfológicos postsinápticos constituyen una consecuencia razonable de la síntesis de proteínas, requerida en la célula postsináptica para estabilizar la LTP.

Menos obvio, sin embargo, resulta el mecanismo de comunicación entre el

componente postsináptico y el presináptico. Dos mensajeros retrógrados, capaces de informar al terminal presináptico sobre el estado del componente postsináptico, son el óxido nítrico y el ácido araquidónico. Producido el primero por una sintasa dependiente de Ca^{2+} y calmodulina, se genera el segundo por la fosfolipasa A_2 , también dependiente de Ca^{2+} . Ambos mensajeros parecen actuar incrementando la liberación del neurotransmisor.

A partir de aquí, los posibles mecanismos de inducción de cambios morfológicos sinápticos asociados a LTP pertenecen todavía al terreno de las hipótesis. La síntesis de factores neurotróficos aumenta drásticamente tras una estimulación capaz de producir LTP, aumento que persiste desde 24 horas hasta 7 días tras estimulación epileptiforme.

El autor de este artículo y sus colaboradores plantearon la posibilidad de que las DPS crecieran por adición de material y que, alcanzado un tamaño máximo, se fragmentaran, lo que equivale a la división de las espinas dendríticas y la generación de nuevos sitios postsinápticos desocupados. Un sitio postsináptico desocupado o inactivo es un lugar donde se intensifica la síntesis de factores neurotróficos.

Supusieron, además, que las estimulaciones capaces de causar LTP promoverían también la renovación de sinapsis y aumentarían el número de espinas desocupadas. Los factores liberados en estas espinas, por sí solos o asociados a glicosaminoglicanos u otras proteínas, despliegan la actividad neuritogénica necesaria para inducir la iniciación de brotes axonales, destinados a ocupar las espinas vacías.

Añádase a ello que una proteína de vesículas sinápticas implicada en la liberación de neurotransmisor, la sinaptotagmina, promueve experimentalmente la formación de filopodios. Estas estructuras, ricas en actina, son típicas de conos de crecimiento presinápticos; así, la elevación de la actividad presináptica conduciría a niveles altos tanto de Ca^{2+} como de sinaptotagmina, que serían capaces de inducir la formación de brotes ultraterminales, el tipo de brote axonal más frecuente en el SNC. Por el contrario, la estimulación a baja frecuencia inductora de LTD produce niveles de Ca^{2+} bajos, si bien capaces de activar la calcineurina que, a su vez, causa la retracción de los filopodios de los conos de crecimiento axonal.

Muy probablemente, la clave de la traducción de experiencias conductuales en cambios morfológicos está en la con-

vergencia de los niveles de Ca^{2+} controlados por la actividad eléctrica (mediada por canales iónicos regulados por neurotransmisor) y por señales metabólicas o de crecimiento (reguladas por receptores metabotrópicos y factores de crecimiento).

La plasticidad del SNC de los mamíferos está dirigida a potenciar los procesos de aprendizaje y memoria. La sinaptogénesis reactiva permite, como mucho, la reparación espontánea de pequeñas lesiones, producto por ejemplo de la rotura u oclusión de algún capilar sanguíneo, reparable con ayuda de brotes terminales y los mecanismos que operan en la renovación sináptica. Lesiones más grandes impiden la vida normal del individuo lesionado, cuya supervivencia y posibilidad de reproducirse son prácticamente nulas. Así, es extremadamente improbable la conservación de mutaciones conducentes a una reparación efectiva de lesiones en el SNC. La reparación espontánea de lesiones en el SNC de los mamíferos no ocurre. Las propiedades de la glía del SNC de los mamíferos conducen, más bien, a la inhibición que a la promoción del crecimiento axonal.

MANUEL NIETO SAMPEDRO es profesor de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en el departamento de plasticidad neural del Instituto Cajal de Madrid. Licenciado en ciencias químicas por la Universidad de Madrid, se doctoró en bioquímica y microbiología en el Instituto Nacional de Investigaciones Médicas de Londres en 1971.

Bibliografía complementaria

HISTOLOGIE DU SYSTÈME NERVEUX DE L'HOMME ET DES VERTÉBRÉS. S. Ramón y Cajal., vol. II. Editado por el CSIC, vol. II, capítulo 36, págs. 863-890; Madrid, 1952.

BRAIN FUNCTION, SYNAPSE RENEWAL AND PLASTICITY. C. W. Cotman y M. Nieto Sampedro en *Annual Review of Psychology*, vol. 33, págs. 371-401; 1982.

CELL BIOLOGY OF SYNAPTIC PLASTICITY. C. W. Cotman y M. Nieto Sampedro en *Science*, vol. 225; págs. 1287-1294; 1984.

LTP AND LTD: DYNAMIC AND INTERACTIVE PROCESSES OF SYNAPTIC PLASTICITY. R. C. Malenka, en *The Neuroscientist*, vol. 1, págs. 35-42; 1995.

PLASTICIDAD NEURAL: DEL APRENDIZAJE A LA REPARACIÓN DE LESIONES. M. Nieto Sampedro en *Arbor*, n.º 602; págs. 89-126; 1999.

Entre el delirio y la realidad

El mundo de los esquizofrénicos remeda, a veces, las intoxicaciones por drogas. De hecho, las anfetaminas y el LSD inducen procesos cerebrales semejantes a los del trastorno esquizofrénico

Franz X. Vollenweider, Margreet F. I. Vollenweider-Scherpenhuyzen y Katja Ludewig

Los rostros de los presentes se le figuraban máscaras grotescas. Su garganta estaba seca, como agarrotada. “El tiempo y el espacio se confundían cada vez más, me derribó el temor a volverme loco.” Así describía Albert Hofmann el primer “viaje con LSD al mundo del terror” de la historia de la humanidad. En 1943, este químico había efectuado un experimento consigo mismo. Ingerió una pequeña cantidad de un polvo cristalino — sintetizado por él — con un efecto devastador: “creí que me había muerto. Mi yo permanecía suspendido en el espacio mientras desde el sofá contemplaba mi cuerpo muerto. Pude observar y registrar de forma nítida cómo mi *alter ego* deambulaba quejumbroso por el espacio”. Sólo 6 horas más tarde comenzó la recuperación paulatina.

Había iniciado con el LSD su camino hacia la investigación de las bases biológicas de la esquizofrenia en razón del efecto alucinógeno que producía, tan próximo a la sintomatología de los pacientes esquizofrénicos. Desde entonces se ha aislado una serie de sustancias psicótropas diferentes, que inducen síntomas psicóticos pasajeros entre las personas sanas. Estos “modelos de psicosis” facilitan el estudio sobre los fundamentos biológicos de los trastornos esquizofrénicos.

¿Pueden aplicarse a la esquizofrenia los conocimientos adquiridos en los experimentos con drogas? En nuestra opinión, ciertos síntomas esquizofrénicos y deter-

minadas características de la intoxicación por las drogas obedecen a un problema común: la incapacidad del encéfalo para extinguir los estímulos irrelevantes. Una consecuencia directa de esta anomalía en la filtración sería el aluvión de estímulos y las carencias de atención; de hecho, éstas se consideran los síntomas iniciales de la enfermedad. Es muy probable que las alucinaciones, los delirios y la alteración de la conciencia propia guarden relación con tal “defecto de filtración”. No obstante, los pacientes con esquizofrenia manifiestan también un empobrecimiento léxico, así como falta de energía e interés, rasgos que, en principio, no se desencadenan con los alucinógenos.

El término esquizofrenia suele interpretarse de forma errónea. Los esquizofrénicos no tienen una personalidad escindida, como el desgraciado Dr. Jekyll y Mr. Hyde de la novela del escritor escocés Robert Louis Stevenson. El intercambio patológico entre las diversas identidades es una entidad real, aunque corresponde a un trastorno psíquico diferente y mucho más raro: el trastorno de la personalidad múltiple. Cuando Eugen Bleuler acuñó el vocablo esquizofrenia (“escisión de la mente”) en el año 1908, este psiquiatra de Zurich se refería, sobre todo, al desmoronamiento del pensamiento, el sentimiento y la voluntad y, en consecuencia, del “yo”.

Los esquizofrénicos presentan, de ordinario, brotes irregulares en el curso de su enfermedad, los denominados brotes o episodios psicóticos. La percepción y el pensamiento se alteran profundamente en el clímax de cada brote. Pese a mantener la conciencia intacta, los enfermos sufren a menudo alucinaciones ópticas y

acústicas. No es raro que éstas lleguen, incluso, a alterar la percepción táctil.

Los pacientes con alucinaciones corporales se hallan convencidos de sufrir mutilaciones de los miembros o bien una descomposición de todo el cuerpo por un cáncer. Otros esquizofrénicos sufren angustia existencial de destrucción o de disolución. Su cerebro ya no separa lo propio de lo ajeno y se quiebra la conciencia de identidad: “mi yo ha desaparecido”, se quejaba un paciente, “¿seguiré vivo?”

Pero existen otros trastornos del yo, como la sensación de perder el dominio sobre el propio pensamiento, que derriban a las personas con ideas delirantes. Según ellas:

- determinadas potencias extranjerías influyen o controlan sus pensamientos y acciones o su cuerpo;
- sus pensamientos son proporcionados o, por el contrario, eliminados por radiaciones sobrenaturales o emisarios secretos;
- las demás personas escuchan en alto sus pensamientos y participan de su vida íntima.

Muchos enfermos esquizofrénicos están firmemente convencidos — certeza del delirio — de que sucesos casuales, como la matrícula de un vehículo que pasa en esos momentos por delante, portan mensajes ocultos para ellos. Mientras que algunos se imaginan en medio de misiones importantes — son agentes de potencias extraterrestres —, otros se sienten amenazados de muerte. Algunas descripciones impresionan: un paciente contaba cómo se introducía cascos de vidrio dentro del oído y de la nariz para defenderse de las amenazas exteriores.



1. LOS LIMITES DE LA CONCIENCIA SE DISIPAN. Muchos esquizofrénicos sienten que su yo se funde con el entorno.

Señas de identificación de una psicosis

La esquizofrenia no constituye ninguna rareza. El trastorno afecta a una de cada 100 personas, al menos, una vez en la vida. Aflige por igual a los varones y a las mujeres de todos los estratos y culturas. Junto con la enfermedad maníaco-depresiva y la depresión endógena, se incluye entre las psicosis endógenas; trastornos, pues, que probablemente no obedecen a causas externas, sino internas. La disposición hereditaria desempeña cierto papel; pero, al parecer, para que la enfermedad se manifieste han de sumarse otros factores de riesgo. Contrariamente a muchas otras enfermedades psiquiátricas, la esquizofrenia hace su aparición pronto; en el varón suele irrumpir entre los 17 y los 27 años y en la mujer, algo más tarde, entre los 17 y los 37. La esquizofrenia se presenta muy pocas veces en otras épocas más avanzadas de la vida.

Muchos de los que rodean a los pacientes consideran que se trata de reacciones grotescas e incomprensibles. Sin embargo, la mayoría de las ideas delirantes complejas constituyen un intento desesperado de hallar explicaciones aparentemente racionales a procesos mentales irracionales e ilusiones sensoriales.

Los trastornos del yo, las ideas delirantes y las alucinaciones representan las manifestaciones cardinales de la esquizofrenia. Se dan a menudo durante el brote psicótico. Los clínicos destacan, además, otros síntomas característicos: los enfermos que se expresan de manera abstrusa y extravagante en la fase aguda padecen trastornos del pensamiento. Muchas veces encadenan fragmentos y palabras carentes de lógica o de propósito; el lenguaje está dominado por contenidos banales. Por otro lado, el contenido conceptual y los sentimientos tampoco parecen acoplados correctamente; así sucede, por ejemplo, cuando un paciente se ríe a carcajadas al describir su tormento. Unos enfermos manifiestan, al principio, euforia o éxtasis; otros muchos refieren depresión y angustia.

El extravío de los investigadores

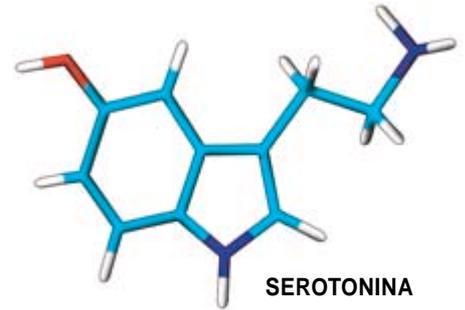
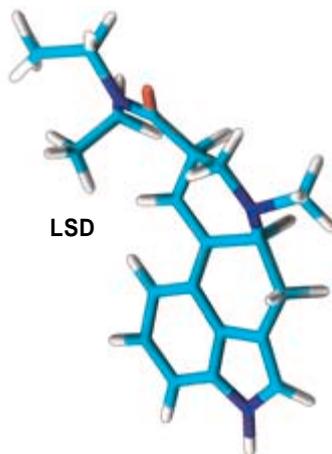
Los síntomas cardinales, junto con los trastornos del pensamiento y las vivencias sensoriales inadecuadas, se integran en el grupo de síntomas positivos: éstos suponen un “exceso” patológico, que se suma al repertorio habitual de conducta

El primer brote psicótico suele ir precedido de síntomas inespecíficos, del tipo de alteraciones de la concentración, apatía, angustia, desconfianza y retraimiento social, durante algunas semanas o incluso años. Desde hace poco tiempo han surgido, en Alemania y en Suiza, algunos centros de diagnóstico precoz para reconocer a tiempo los primeros signos de la enfermedad psíquica.

En su evolución a largo plazo la psicosis esquizofrénica no sigue un patrón uniforme. Pese a disponer de antipsicóticos sumamente eficaces, la mayoría de los afectados lleva una vida con limitaciones impuestas por las recaídas esporádicas o constantes. De todas maneras, un tercio de los pacientes con el primer episodio psicótico logra reincorporarse y llevar una vida prácticamente normal, una vez que remite el brote.

de una persona. En cambio, el segundo grupo de síntomas —negativos— alude a las “carencias” patológicas del comportamiento que suelen seguir a la fase aguda. El enfermo expresa entonces indiferencia; las vivencias y manifestaciones emocionales disminuyen; el mundo de las ideas se empobrece. El paciente se torna apático y se retrae del contacto con los demás.

Entretanto, los tests neuropsicológicos más recientes permiten reconocer trastornos cognitivos sutiles. Así se ha comprobado que muchos pacientes esquizofrénicos presentan problemas de atención, una menor conciencia laboral y problemas para actuar y planear desde años antes de que se manifieste la psi-



cosis. Desde luego, estos signos inespecíficos no bastan para establecer el diagnóstico. Con todo, resultan determinantes para el reconocimiento precoz de la esquizofrenia. De la misma manera, ninguno de los síntomas positivos o negativos descritos “confirma”, por sí solo, la enfermedad, pues pueden aparecer en otros trastornos. Sólo cuando la enfermedad alcanza el estadio agudo se puede diagnosticar la esquizofrenia con una probabilidad elevada.

Durante mucho tiempo se ignoraron los procesos fisiológicos cerebrales de la esquizofrenia. No es de extrañar que surgieran, como hongos, teorías especulativas a su alrededor. Todavía bien entrados los años sesenta del siglo pasado, algunos científicos culpaban de la enfermedad a las familias. El fantasma de la “madre esquizofrenógena”, que a través de su conducta dominante impulsaba a sus hijos hacia la enfermedad, pululó durante muchos años por la bibliografía especializada, aunque jamás se aportaron pruebas empíricas.

Hoy sabemos, a partir de estudios de familias, gemelos y adopciones, que en la génesis de la esquizofrenia participan varios genes. Los expertos en genética molecular sólo han podido delimitar, hasta la fecha, su posición aproximada en los cromosomas, pero se desconoce la identidad de los genes responsables.

No obstante, la disposición hereditaria sólo explica una parte del trastorno. Los gemelos monocigotos poseen un material hereditario idéntico; si sufre la enfermedad uno de ellos, el otro sólo lo hace en un 50 % de las ocasiones. Es evidente que sólo se hereda una parte del riesgo.

Basándose en estos datos, J. Zubin y B. Spring, de la Universidad del estado de Nueva York, propusieron, a finales de los años setenta, la hipótesis de la vulnerabilidad y el estrés para explicar la esquizofrenia. Según esta concepción, la disposición hereditaria sólo establece una vulnerabilidad (susceptibilidad) que facilitaría el trastorno. No obstante, para que la enfermedad se manifieste se necesitan otros efectos nocivos o estresantes.

Hoy, muchos investigadores opinan que el germen de la enfermedad se encuentra ya dentro del útero o en la primera infancia. Si se compara con la población general, las madres de pacientes esquizofrénicos sufren más infecciones durante el embarazo o complicaciones durante el parto. Se sospecha que unas y otras pueden alterar el desarrollo del encéfalo infantil. Quizá, se altere la maduración y el contacto entre determinadas neuronas. Estas alteraciones podrían constituir el “correlato neuronal” que Zubin y Spring llaman vulnerabilidad.

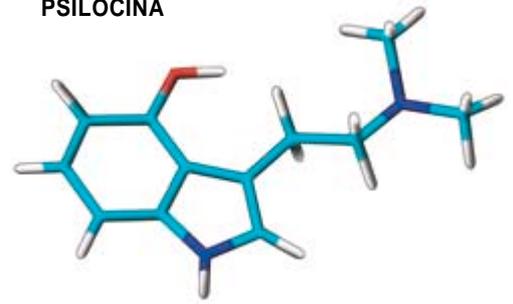
Aún se ignora por qué esta enfermedad suele manifestarse entre adultos jóvenes. Es posible que se requiera una acumulación sucesiva de daños. No se ha demostrado, de manera empírica, que

las sobrecargas psíquicas provoquen el brote; con todo, parece que las situaciones de estrés favorecen las recaídas.

Uno de los problemas para la investigación etiológica de la esquizofrenia concierne a la variabilidad del cuadro clínico. El patrón y la intensidad de los síntomas se diferencian, no sólo de un paciente a otro, sino también en el curso de una misma enfermedad. Por eso, los investigadores han procurado fragmentar este fenómeno complejo en unidades más sencillas.

La semejanza entre la psicosis inducida por el LSD y la esquizofrénica estableció un modelo para la investigación de esta psicosis humana. Por otro lado, los farmacólogos descubrieron principios químicos activos que suprimen estas

PSILOCINA



manifestaciones de la enfermedad; más tarde, algunos de ellos se han convertido en medicamentos eficaces.

¿Cómo se explica el efecto de las sustancias psicótropas? Los pensamientos, la vida emocional y la conducta se basan

Piratas receptores muy caprichosos

El LSD y la psilocibina son sustancias con una estructura química emparentada con la del neurotransmisor serotonina. Por eso, desde hace tiempo se sospechaba que estos alucinógenos inhibían la transmisión interneuronal de los estímulos serotoninérgicos al bloquear los receptores serotoninérgicos de la membrana postsináptica. Se afirmaba que estas sustancias operaban como “antagonistas de la serotonina”. De hecho, se ha comprobado ese efecto en algunas regiones cerebrales. Se trata, empero, de un esquema harto simplista: existen múltiples subtipos diferentes de receptores de serotonina. Las células piramidales del lóbulo frontal poseen, por ejemplo, los subtipos 5-HT_{2A/C} y 5-HT_{1A}. Eleanor Sander Bush, de la Universidad de Vanderbilt, demostró, a través de experimentos con animales, que el LSD no bloquea estos subtipos de receptores, sino que los activa; así pues, el LSD no actúa como antagonista sino, por el contrario, como agonista.

Además, el LSD aumenta la concentración de dopamina a través de los receptores dopaminérgicos (de tipo D₂), aunque de forma muy débil. Cuando surgió la hipótesis dopaminérgica de la esquizofrenia, muchos investigadores creyeron que los alucinógenos, como el LSD y la psilocibina, inducían síntomas psicóticos; no los atribuían a sus efectos sobre las vías nerviosas controladas por la serotonina, sino a las reguladas por la dopamina. Para verificarlo, nosotros administramos el compuesto ketanserina, que bloquea exclusivamente los re-

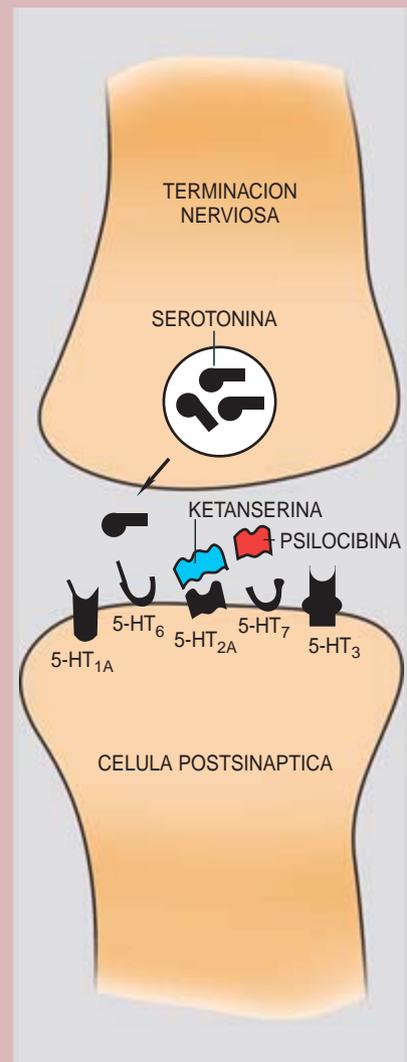
ceptores 5-HT_{2A}, o bien el antipsicótico haloperidol, que sólo inhibe los receptores D₂, a probandos. Muy poco después, estos mismos probandos ingirieron la sustancia psicótropa psilocibina.

¿Qué obtuvimos? La psilocibina no produjo ningún síntoma entre los que habían tomado, con anterioridad, ketanserina. En cambio, los que habían ingerido haloperidol manifestaron alucinaciones y trastornos cognitivos característicos de la psilocibina; tan sólo faltaron los sentimientos de euforia. Al parecer, los efectos psicóticos que inducen la psilocibina y, probablemente también, el LSD dependen, sobre todo, de una activación de los receptores 5-HT_{2A}.

Los antipsicóticos atípicos bloquean tanto los receptores de dopamina (D₂) como los de serotonina (5-HT_{2A}). A diferencia de los bloqueadores puros de los receptores dopaminérgicos, no sólo disminuyen los síntomas positivos, sino también los déficit cognitivos. Resulta, pues, verosímil que estos últimos obedezcan a una hiperactividad de las neuronas serotoninérgicas del lóbulo frontal.

EL SITIO YA ESTÁ OCUPADO.

La sustancia ketanserina actúa exclusivamente sobre receptores especiales de 5-HT. La psilocibina —se metaboliza en psilocina en el organismo— ya no puede actuar porque, al parecer, se une a los mismos receptores.



THOMAS BRAUN



2. PARPADEO INVOLUNTARIO. De 30 a 40 milisegundos después de sufrir un sobresalto acústico, el probando cierra los ojos (reflejo de oclusión palpebral). La electromiografía (EMG) mide la reacción del músculo oclisor del párpado. La reacción se debilitaría si el sujeto oyera un sonido suave, apenas perceptible (prepulso), antes de emitir el tono elevado (pulso). Este fenómeno se denomina inhibición del prepulso.

en la interacción de incontables células nerviosas que intercambian información a través de mensajeros químicos. Cuando las células nerviosas excitadas liberan tales sustancias, denominadas neurotransmisores, éstos se enlazan con receptores especiales de las células vecinas que, a continuación, transmiten la señal correspondiente. Por el momento, se conocen más de 40 neurotransmisores y multitud de receptores. Hoy se piensa que en la génesis de los síntomas psicóticos intervienen, al menos, tres neurotransmisores: la dopamina, la serotonina y el ácido glutámico.

La hipótesis clásica de la dopamina, que se remonta a los años setenta, sostenía que el cerebro de los esquizofrénicos produce dopamina en exceso. Tal afirmación se apoyaba en dos observaciones: la amfetamina aumenta la liberación de dopamina. Aplicada en dosis altas, esta droga induce una psicosis con alucinaciones y delirio de persecución. Existen, además, sustancias que bloquean determinados receptores de la dopamina y que, al hacerlo, suprimen, sobre todo, los síntomas psicóticos positivos.

Puesto que la dopamina aumenta la sensibilidad de las células cerebrales ante diversos estímulos, durante mucho tiempo se concedió crédito a esta hipótesis. Por otro lado, los antagonistas de

los receptores de la dopamina no modifican los síntomas negativos; en consecuencia, el exceso de dopamina sólo podría explicar, a lo sumo, una parte de los procesos morbosos. No obstante, los estudios más recientes con técnicas de imagen han revelado que las cosas son mucho más complicadas: algunas regiones del encéfalo, como el lóbulo frontal, presentan una carencia de dopamina y otras, por el contrario, un exceso.

El parentesco químico estructural entre el LSD y la psilocibina, por un lado, y el neurotransmisor serotonina, por el otro, llevó a la hipótesis serotoninérgica. Ambas sustancias, el LSD semisintético (dietilamida del ácido lisérgico) y la psilocibina extraída del teonanacatl, hongo sagrado de los aztecas, inducen, entre personas sanas, síntomas positivos y trastornos del yo parecidos a los de la esquizofrenia. Se trata de sustancias que se unen a los receptores serotoninérgicos, si bien, en función de la región cerebral, producen un efecto activador o inhibidor. Gracias a estos modelos de psicosis, comprendemos mejor los efectos complicados de la serotonina.

La tercera de las hipótesis enunciadas se refiere al neurotransmisor cerebral ácido glutámico. La droga psicodélica fenciclidina (PCP, “polvo de los ángeles”) y el anestésico ketamina, con una estructura química relacionada, despliegan su acción sobre receptores específicos para el ácido glutámico. Contrariamente a la amfetamina, el LSD y la psilocibina, la fenciclidina y la ketamina no sólo inducen síntomas positivos, sino también algunos negativos. En estos momentos, los investigadores evalúan la hipótesis de que los pacientes esquizofrénicos sufran una carencia cerebral de ácido glutámico.

3. TRABAJAR SIN MOLESTIAS. La emisión de un tono alto activa (*zonas rojas*) las regiones situadas en la parte lateral del lóbulo frontal, el cuerpo estriado, el tálamo y el cerebelo de las personas sanas. Si este estímulo fuerte (“pulso”) va precedido de otro (prepulso) apenas audible, se excitan otras regiones del lóbulo frontal y del tronco del encéfalo (*zonas verdes*) y, al mismo tiempo, disminuye considerablemente la actividad del tálamo y de otras regiones. Al parecer, después del prepulso, el tálamo cierra el filtro por donde fluye la información sensorial y motora para proteger el procesamiento del prepulso suave.

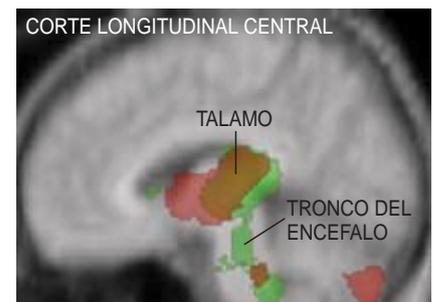
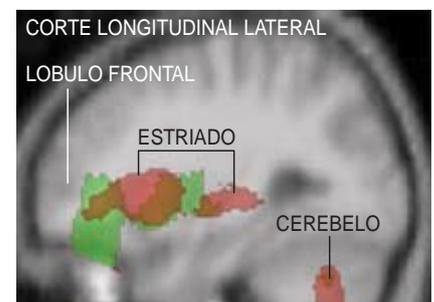
Desorganización cerebral

A pesar de que las anfetaminas, el LSD y la fenciclidina son drogas con una estructura química diversa y se unen a receptores completamente diferentes, producen síntomas positivos muy similares. ¿Cómo se explica esto? ¿Actúan de forma recíproca sobre los distintos sistemas transmisores o acaso estas drogas activan una vía final común?

Los datos de los nuevos estudios aúnan las tres hipótesis. Se parte de la observación, conocida desde hace tiempo, de que los esquizofrénicos sufren tal invasión de estímulos internos y externos durante la psicosis aguda, que no pueden ordenar semejante torrente informativo en el espacio y en el tiempo.

Ya en 1958 D. E. Broadbent propuso que los problemas de atención de los esquizofrénicos obedecían a una filtración insuficiente de los estímulos menos relevantes por el encéfalo. Sin embargo, sólo en los últimos años se han elaborado conceptos que permiten examinar de forma empírica la idea del “defecto de filtración”.

Uno de los modelos más afianzados de filtración de los estímulos lo constituye el paradigma de inhibición del prepulso (PPI), que se da en el reflejo de sobresalto acústico. El modelo se basa en la observación siguiente: si se atemoriza a los animales con un sonido alto (pulso), los animales se estremecen de forma refleja. Una reliquia humana de este reflejo corporal integral es el reflejo de oclusión palpebral: cuando nos sobresaltamos, cerramos automáticamente los

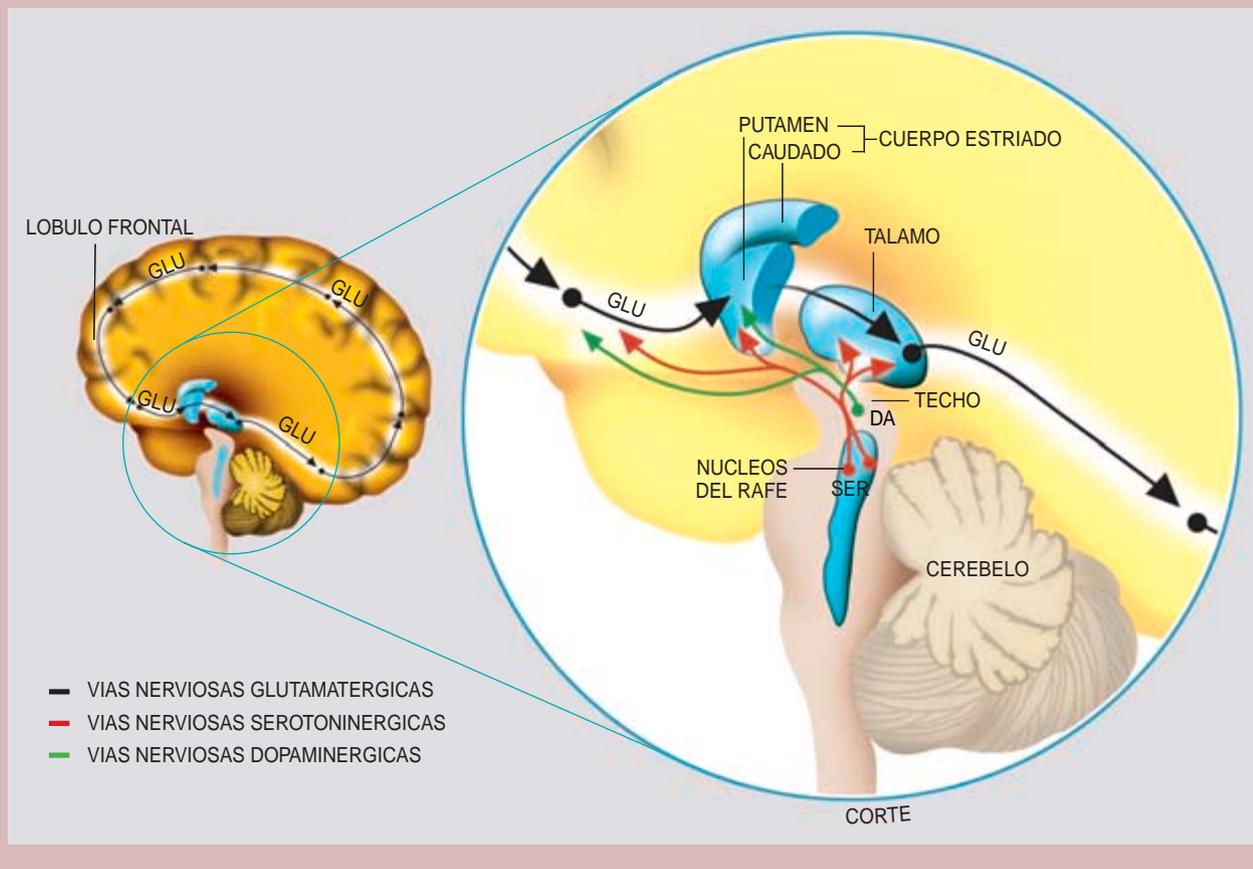


■ PULSO ■ PREPULSO + PULSO

El guardián de los datos

Los estímulos sensoriales del mundo exterior llegan primeramente al tálamo, la “estación de relevo” del encéfalo. Desde allí, la excitación encefálica sigue un circuito de retroalimentación negativa (*flechas negras*) a través de regiones sensoriales primarias y secundarias de la corteza, lóbulo frontal y cuerpo estriado y arriba al punto de partida, el tálamo. El tálamo filtra y modula los estímulos que ascienden al cerebro. Si el lóbulo frontal se activa de forma intensa, ejerce una retroalimentación negativa sobre el tálamo y aumenta, de este modo, la filtración talámica, protegiéndose así de la llegada de nuevos estímulos. Aparentemente, los alucinógenos abren el filtro: la ketamina lo hace inhibiendo el cir-

cuito de retroalimentación del lóbulo frontal al tálamo, que depende del ácido glutámico (GLU). La anfetamina, que aumenta la neurotransmisión dopaminérgica (DA) hacia el cuerpo estriado, ejerce el mismo efecto y altera la retroalimentación talámica. La abertura del filtro talámico anega el cerebro de estímulos y produce los síntomas psicóticos agudos. La psilocibina actúa estimulando receptores especiales para la serotonina [5-HT_{2A}] del tálamo y del lóbulo frontal. Por eso, hemos ampliado el modelo de Arvid Carlsson y formulado la hipótesis de que la actividad excesiva de las neuronas serotoninérgicas también determina una sobreestimulación cortical.



ojos. Se atenúa el reflejo cuando el impulso acústico va precedido de otro pulso apenas perceptible (“prepulso”). El procesamiento del segundo impulso de gran intensidad se inhibe, al parecer, para no alterar el procesamiento momentáneo del impulso previo bajo. La inhibición del prepulso se considera un índice de la función filtradora.

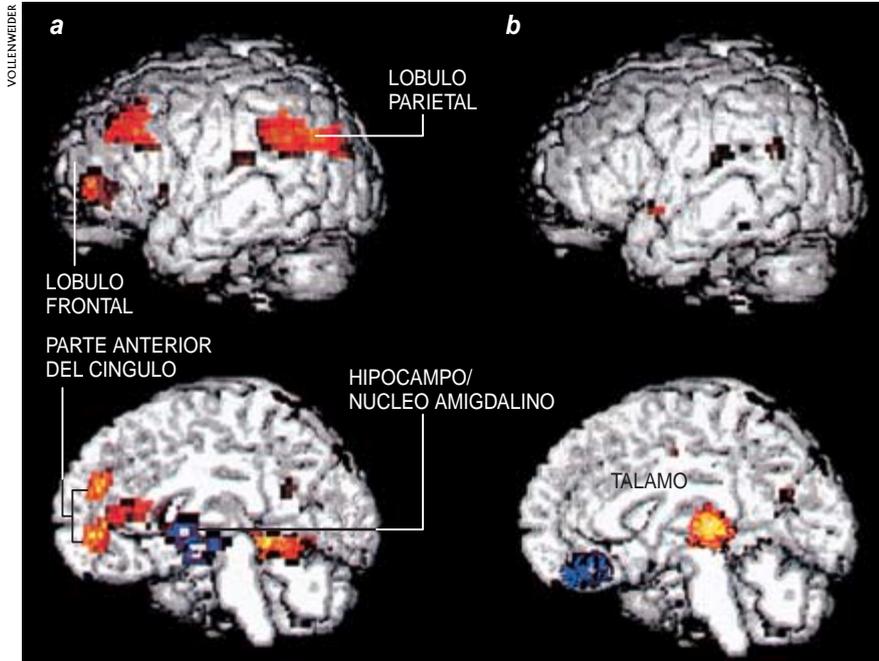
Las drogas mencionadas alteran considerablemente esta función filtradora. A finales de los años ochenta, el grupo de David Braff y Mark Geyer, de la Universidad de California en San Diego, observó que los pacientes con esquizofrenia

crónica también manifestaban un defecto de PPI. Este se correspondía con el grado de trastorno del pensamiento.

Sin embargo, no se aclaró si el defecto de PPI podría obedecer a una reacción adversa a la medicación antipsicótica. Sólo hace poco, Katja Ludewig, de nuestro grupo de investigación, ha logrado demostrar un déficit claro de PPI entre pacientes esquizofrénicos recién diagnosticados que no habían tomado aún ningún medicamento. Se acentuaba el defecto, sobre todo, entre los pacientes con mayores alteraciones de la atención. Por lo tanto, estos resultados de nuestra inves-

tigación indican que el descenso en la filtración de los estímulos sucede ya desde el principio de la enfermedad.

La inhibición del prepulso se puede examinar en modelos animales. Markus Fendt y Michael Koch demostraron que la función filtradora depende, en esencia, de tres regiones encefálicas: el lóbulo frontal (corteza frontal), el cuerpo estriado y el tálamo. Si se desconecta alguna de estas regiones, empeora la PPI. Como el tálamo integra la información proveniente de los órganos sensoriales y la transmite al cerebro, probablemente asuma la función de “filtro central”. Arvid



4. IMAGENES DEL TRASTORNO DEL YO. El patrón de actividad cerebral difiere según el tipo de alteración del yo que se manifieste. En *a*: la actividad (*en rojo*) del lóbulo frontal (corteza frontal), la de la parte anterior del cíngulo y la del lóbulo parietal se elevan entre los probandos que manifiestan un alejamiento eufórico del yo (“autoalejamiento oceánico”) con la ketamina o la psilocibina. Al propio tiempo, la actividad de las neuronas del hipocampo y de los núcleos amigdalinos (*en azul*) disminuye. En *b*: este alejamiento angustiado del yo, que se acompaña de una sensación de destrucción, cursa, sin embargo, con un aumento bilateral (*en rojo*) de la actividad del tálamo y una disminución (*en azul*) de las regiones profundas del lóbulo frontal. En la imagen se ven los hemisferios cerebrales izquierdos desde una proyección externa (*parte superior*) y en un corte longitudinal (*parte inferior*).

Carlsson ha propuesto la existencia de dos vías nerviosas diferentes que sostienen la función filtradora del tálamo. La primera, que se dirige desde la corteza frontal al estriado, se halla gobernada por el ácido glutámico; la segunda discurre desde el tronco del encéfalo al estriado y se sirve de la dopamina como mensajero.

El agotamiento de la memoria operativa

Todas las regiones encefálicas se comunican a través de bucles reguladores, es decir, influyen de forma recíproca en su actividad. Así se explica que las drogas descritas induzcan psicosis parecidas, a pesar de actuar sobre lugares diferentes. Con independencia de que la ketamina suprima la transmisión nerviosa dependiente del glutamato o de que la anfetamina aumente la actividad dependiente de la dopamina, ambas abren de manera indirecta el filtro talámico y anegan de información el cerebro.

Nuestro grupo ha examinado este modelo a través de técnicas de imagen apli-

cadadas a personas sanas. Mediante tomografía por emisión de positrones (PET) se localizan regiones cerebrales con mayor o menor consumo de energía; es posible seguir la actividad de cada área encefálica. La ketamina y la psilocibina aumentan la actividad de la corteza frontal (lóbulo frontal) de manera llamativa, lo que revela una estimulación excesiva de esta región. Al mismo tiempo, se modifica la actividad en otras regiones corticales y en el tálamo. La denominada hiperactividad frontal también se verifica, en parte, entre pacientes con esquizofrenia aguda, no tratados con anterioridad. En cambio, los enfermos con esquizofrenia crónica, que padecen principalmente síntomas negativos, no muestran esa hiperactividad. Así pues, los efectos inducidos por las drogas parecen obedecer a procesos similares a los causantes de la psicosis esquizofrénica.

¿Podría la hiperactividad frontal hallarse tras una deformación de la percepción de lo propio y del entorno? Hemos comparado el patrón de actividad cere-

bral durante diversas estimulaciones de pulso-pulso. Entre las personas sanas, la emisión del prepulso inhibitor del reflejo aumentó la actividad de la corteza frontal y redujo la de otras regiones corticales, así como las del estriado y tálamo. Por consiguiente, para la función de filtro se requiere, en principio, una corteza frontal activa. Como la sobredosis de drogas y la psicosis esquizofrénica se asocian, desde el comienzo, con una hiperactividad frontal, es probable que no se disponga, para la función filtradora, de suficientes reservas activas.

Esta hipótesis habrá que reforzarla con experimentos. Sin embargo, explicaría por qué la memoria operativa de los esquizofrénicos, que se encuentra acoplada a la corteza frontal, deja de funcionar. La memoria operativa permite evaluar e interpretar los estímulos internos y externos comparándolos con la información almacenada. Cuando la sobrecarga de estímulos lleva a la psicosis, el cerebro se torna incapaz de poner orden en la información que le llega. Y acaba por perderse el contacto con la realidad.

Nos esforzamos por explicar la esquizofrenia a través de neurotransmisores y actividad cerebral. No significa ello, por supuesto, que la enfermedad pueda combatirse sólo con los medicamentos. Si lográramos comprender todos los procesos involucrados, podríamos elaborar estrategias terapéuticas mucho más precisas.

FRANZ X. VOLLENWEIDER, profesor de la Universidad de Zurich, dirige el grupo de investigación de neurofarmacología y estudios de imagen del encéfalo en la clínica psiquiátrica de dicho centro superior. **MARGREET F. I. VOLLENWEIDER-SCHERPENHUYZEN** es especialista en anestesia de la clínica Hirslanden de Zurich. **KATJA LUDEWIG** es jefe clínico del departamento de investigación de los Servicios Psiquiátricos del cantón de Aargau.

Bibliografía complementaria

SCHIZOPHRENE MENSCHEN. C. Scharfetter. Psychologische Verlags Union Urban und Schwarzenberg; Munich, 1990.

DAS RÄTSEL SCHIZOPHRENIE. EINE KRANKHEIT WIRD ENTSCHLÜSSELT. H. Häfner. C. H. Beck Verlag; Munich, 2000.

A SYSTEMS MODEL OF ALTERED CONSCIOUSNESS. INTEGRATING NATURAL AND DRUG-INDUCED PSYCHOSES. F. X. Vollenweider y M. A. Geyer, en *Brain Research Bulletin*, vol. 56, pág. 495; 2001.

¿Hay ratas esquizofrénicas?

¿Puede un animal padecer delirios y alucinaciones? Por supuesto, no podemos responder con plena seguridad a estas preguntas. Sin embargo, los investigadores creen que muchos síntomas psicóticos obedecen a alteraciones funcionales del encéfalo que también manifiestan los animales. Los modelos animales no sólo ayudan a descubrir nuevos



medicamentos contra la esquizofrenia y probar su toxicidad, sino que, además, permiten verificar las teorías sobre el origen de la enfermedad y los posibles factores de riesgo, por ejemplo, el efecto de los tóxicos ambientales o del aislamiento social.

Un concepto muy prometedor acerca de los síntomas psicóticos es la idea de un defecto de filtración encefálica, es decir, la incapacidad para discriminar entre los estímulos relevantes y los irrelevantes. Esta impotencia propiciaría una inundación de estímulos y acarrearía problemas para fijar la atención. Para explorar de forma empírica esta disfunción, se coloca a la rata dentro de una jaula protegida. Si, a través de un altavoz, se emite un tono bajo, el roedor dirige la cabeza hacia la fuente sonora (reacción de orientación). En cambio, si se hace resonar de forma inesperada un tono alto, el animal se estremece (reacción de sobresalto). Sin embargo, si 100 milisegundos antes de emitir el tono alto (estímulo de sobresalto), se aplica un estímulo suave (prepulso), la reacción de sobresalto del animal sano se reduce claramente.

Mientras el encéfalo procesa la primera información que le llega, suprime, al parecer, la elaboración del estímulo posterior para proteger, de las influencias nocivas, el primer proceso. Este fenómeno se conoce como inhibición del prepulso (PPI). Cuando en 1978 David Braff y sus colaboradores, de la Universidad de California en San Diego, observaron una debilitación de la PPI entre sus pacientes con esquizofrenia crónica, surgió un gran interés por conocer los fundamentos neurobiológicos del fenómeno.

¿Se pueden trasladar los resultados de la PPI de las ratas al ser humano? Para hacerlo deben satisfacerse tres condiciones o criterios de validez:

- **Validez de reproducción:** el ser humano y los animales deben comportarse de forma prácticamente idéntica en las condiciones del experimento. Así sucede en este caso: las anfetaminas alteran la PPI en la especie humana y en las ratas por igual.
- **Validez de constructo:** los investigadores han observado determinadas alteraciones en el encéfalo de los esquizofrénicos. Cuando se inducen estas alteraciones de forma empírica a los animales, se observan las alteraciones pertinentes de la conducta.
- **Validez de predicción:** los medicamentos que alivian a los enfermos de esquizofrenia, también actúan sobre los animales de experimentación. Tanto los neurolepticos clásicos

como los preparados atípicos más recientes mejoran la inhibición del prepulso de las ratas.

El modelo animal de la inhibición del prepulso cumple perfectamente los tres criterios de validez. Los mecanismos neuronales que subyacen a la inhibición del prepulso de las ratas deberían, por lo tanto, ser idénticos a los que se encuentran alterados entre los esquizofrénicos.

A partir de los modelos animales sabemos ahora que el efecto del neurotransmisor dopamina sobre los receptores D_2 del *nucleus accumbens* del cuerpo estriado interviene en la PPI de la rata. Si se incrementa de manera artificial la actividad de las neuronas dopaminérgicas de esta región concreta, se debilita la inhibición del prepulso. Además, los experimentos con los animales han revelado que el *nucleus accumbens* se comunica con las regiones encefálicas siguientes:

- la corteza prefrontal, que también participa en la memoria operativa;
- el hipocampo, responsable del aprendizaje, la memoria y la orientación espacial;
- el tálamo, que integra la información procedente de los órganos sensoriales;
- el núcleo amigdalino, que es el sistema del miedo y de la agresión;
- algunas zonas del tegmento, que controlan la conducta dirigida a satisfacer las necesidades.



LUCHA ENTRE COMPETIDORES. El prepulso suprime el procesamiento del estímulo de sobresalto.

Las observaciones con seres humanos confirman los datos de los modelos animales. Cuanto mejor conozcamos las regiones encefálicas que intervienen en la esquizofrenia, más selectivos serán los nuevos preparados antipsicóticos. Todo medicamento que actuara de manera selectiva sobre la región encefálica afectada, debería resultar más eficaz y, al mismo tiempo, reducir al mínimo el peligro de reacciones adversas (nada despreciables, hasta la fecha).

MARKUS FENDT, MICHAEL KOCH

Markus Fendt es profesor del Instituto zoológico de la Universidad de Tubinga y Michael Koch, profesor del Instituto de investigación cerebral de la Universidad de Bremen.

Esquizofrenia y arte

¿Por qué nos fascinan las obras de los artistas esquizofrénicos? Quizá se deba a que sus creadores miran en abismos que el resto de los mortales sólo es capaz de atisbar

Thomas Fuchs

La proximidad entre el arte, el genio creador y la enfermedad mental ha constituido un permanente motivo de fascinación. Ya el filósofo griego Platón consideraba la “manía” —la exaltación del alma— como un regalo de los dioses que facultaba a los artistas y a los poetas para poder llevar a cabo sus obras. “Siendo así que todo lo que es grande ocurre en la locura”, escribe en *Fedro*, uno de sus diálogos. Aproximadamente 2000 años más tarde, en 1811, Benjamin Rush llamaba la atención sobre algo muy parecido al hablar de la liberación de la fuerza creadora que acaece en la locura: “Por razón de la exaltación preternatural, que no enfermedad, de una parte del cerebro, la consciencia adquiere no sólo una fuerza y una agudeza inusuales, sino que además descubre en sí dotes de las que nunca antes había dado muestra”.

Rush compara la esquizofrenia con un terremoto que hace saltar por los aires las capas tectónicas petrificadas del espíritu civilizado, poniendo al descubierto todo un potencial arcaico, esto es: “valiosos y espléndidos fósiles”, en sus palabras textuales. Esta perspectiva romántica de la enfermedad psíquica retorna de vez en cuando, aunque es evidente que

no resulta completamente adecuada para la creación artística de un individuo esquizofrénico; por sí misma, la enfermedad no convierte a nadie en un artista.

Sin embargo, es innegable que las obras de estas personas desprenden a menudo una magia especial. El artista sabe cómo llevarnos —como observadores al menos— hasta el umbral de su extraño mundo vital y hacernos atisbar allí algo de la fragilidad de la existencia humana. Percibimos la lucha desesperada del enfermo por reconquistar su propia identidad y su antiguo orden perdidos. Una lucha agónica que el paciente esquizofrénico consigue transmitir en el mundo cerrado de una pintura mejor que en la vida real; de ese modo, recupera mediante la creación pictórica, siquiera sea por un valioso momento, su libertad de acción.

A finales del siglo XIX Cesare Lombroso (1835-1909) hizo popular la relación romántica entre el arte y la locura. En *Genio y locura*, publicado en 1888, este antropólogo italiano analizó a los artistas y escritores más importantes de su época. Encontró en ellos signos de una “debilidad psíquica”, cuya causa atribuyó a la herencia. Al establecer esta conclusión, Lombroso reflejaba su dependencia de la doctrina de la degeneración, en boga por entonces en círculos psiquiá-

tricos; la tesis postulaba una degradación inevitable de la especie humana.

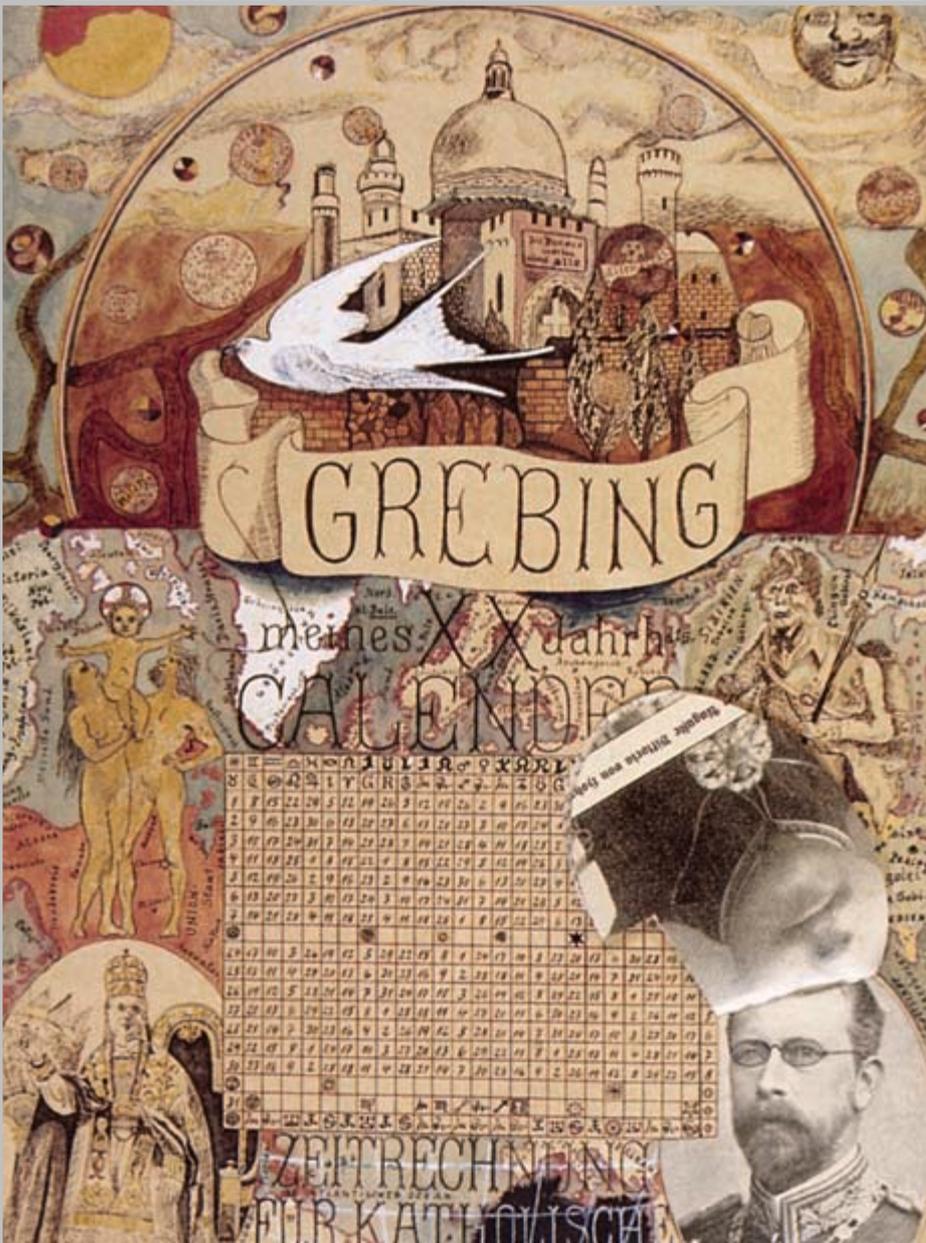
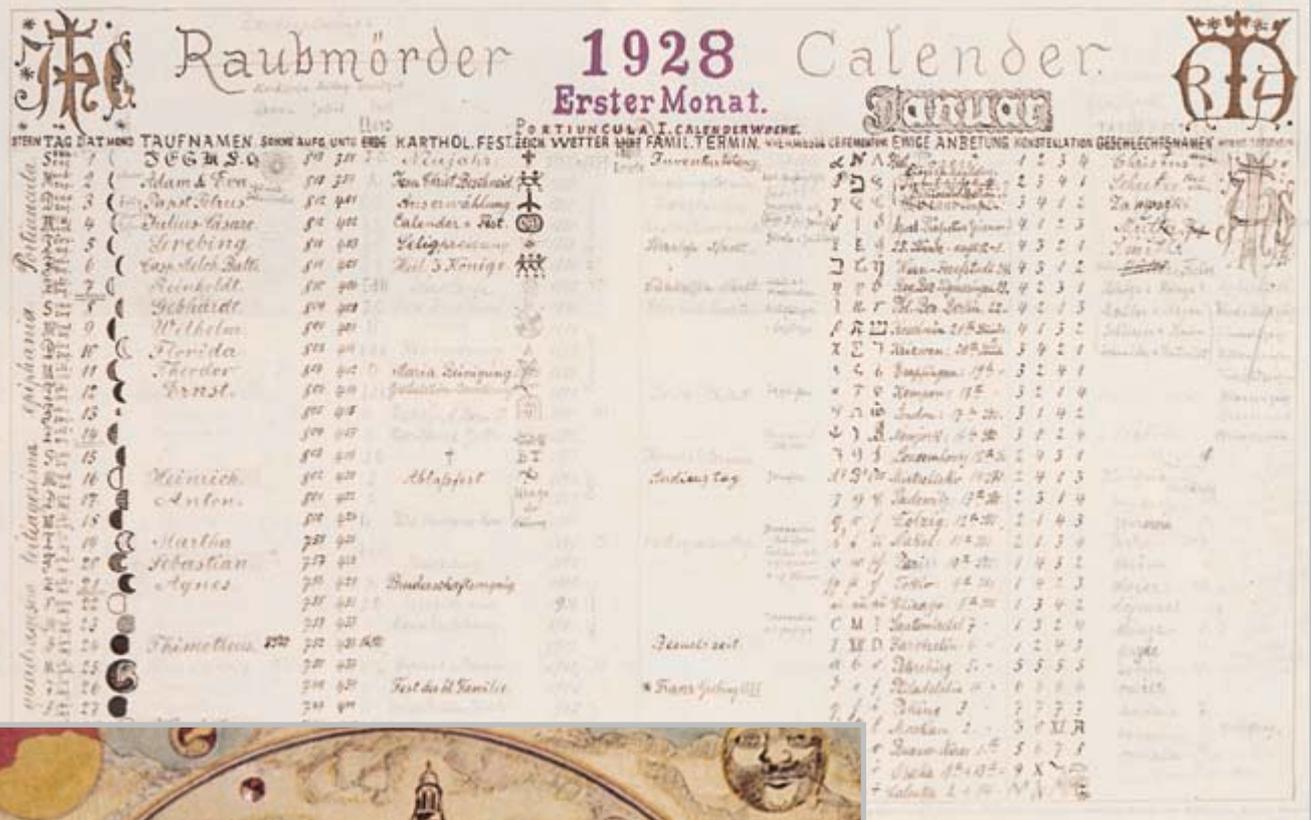
Cincuenta años más tarde, los nacionalsocialistas recogieron de nuevo esas ideas y las transformaron para su causa. En “Arte degenerado”, una exposición tristemente célebre, exhibieron juntas, entre 1937 y 1941, las obras de enfermos mentales y de artistas contemporáneos. Se proponían, con ello, poner de manifiesto la debilidad mental y decadencia del arte moderno. Justo en sentido contrario, y por las mismas fechas, los surrealistas ensalzaban las obras redescubiertas de los enfermos mentales, calificándolas de creaciones revolucionarias y antirracionales, propias de un inconsciente liberado de sus cadenas.

De hecho, la creación artística ya se había relacionado en alguna ocasión con la enfermedad mental. Así, a propósito de Adolf Wölfli (1864-1930), poeta, pintor y compositor suizo. Este genio polivalente, aquejado de esquizofrenia, no sólo creó una mitología privada, sino también un vocabulario y un sistema de cálculo propios. De forma similar, el pintor Friedrich Schröder-Sonnenstern (1892-1982) comenzó su carrera artística una vez iniciada la irrupción de la psicosis.

Vincent van Gogh (1853-1890), en cambio, pintaba ya antes de padecer su enfermedad; en su caso se trataba más bien

1. SOBRE ZANCOS. Pintado en 1919, este cuadro acabó convirtiéndose en el emblema de la Colección Prinzhorn. En la parte superior derecha escribió el artista Josef Foster las siguientes palabras: “Esto debe representar que, cuando uno no tiene ningún peso corporal con el que deba cargar, se puede ir entonces a gran velocidad por el aire”.





2. ASESINO Y LADRON. Las pinturas de Josef Heinrich Grebing (1879-1940) no fueron concebidas como obras de arte. Se dirigen contra la amenaza de la nada, del desmoronamiento de la estructura mental y de la muerte.

3. CALENDARIO SECULAR. Permanentemente en busca de "lo único correcto que existe", Grebing trabajó de forma incansable en la realización de calendarios siempre nuevos, que debían recomponer el orden perdido de su mundo.

4. EL PASTOR MARAVILLOSO. August Natterer (1868-1933) describió a Hans Prinzhorn sus visiones de impronta religiosa: lobos, ovejas y el “buen pastor”.

de una epilepsia o de una psicosis maníaco-depresiva que de una esquizofrenia. Algo semejante ocurrió con el artista Edvard Munch (1863-1944), posteriormente depresivo, o con el pintor y músico Louis Soutter (1871-1942).

De esa gavilla de ejemplos cabe inferir que un artista es capaz de crear grandes obras no a causa de su enfermedad mental, sino a pesar de ella. Pero la psicosis comporta, sin duda, un cambio significativo, lo mismo en la expresión que en el estilo. Van Gogh pintó sus cuadros principales en el período comprendido en los cuatro años y medio posteriores a la aparición de su enfermedad. También Munch creó muchos de sus trabajos célebres en los años en torno al de 1895, coincidiendo con una época de severas depresiones y excesos alcohólicos.

Con todo, la mayoría de los artistas enfermos mentales no se hicieron famosos. La colección de creaciones artísticas realizadas por esquizofrénicos más conocida lleva el nombre del psiquiatra e historiador del arte Hans Prinzhorn (1886-1933). En el año 1919 le encargó Karl Wilmanns, a la sazón director de la Clínica Psiquiátrica de Heidelberg, crear un “museo de arte patológico” con cuadros de pacientes aquejados de enfermedades mentales. Pero Prinzhorn no pudo culminar el proyectado museo, ya que dejó Heidelberg tres años más tarde. Sin embargo, consiguió reunir, en el transcurso de ese corto intervalo temporal, una enorme cantidad de cuadros procedentes de instituciones psiquiátricas alemanas y de algunas extranjeras.

Obras de arte en papel de calendario

Se recogieron unos 5000 trabajos, realizados entre 1885 y 1925, procedentes de unos 450 internos de diversos centros manicomiales. No influidos por los medicamentos antipsicóticos, todavía desconocidos, estos trabajos representaban un testimonio excepcional en su género y a nivel mundial. Se trataba de dibujos, acuarelas, óleos, trabajos textiles, collages y esculturas en madera. En la mayoría de las ocasiones, los pacientes pintaban o dibujaban en papel de barba, hojas de calendario, formularios, periódicos o incluso en papel higiénico, cuando no utilizaban cualquier otra cosa que tuvieran a mano en el manicomio. Surgió



AUGUST NATTERER. ("NETER"). "EL PASTOR MARAVILLOSO" (II). ANTES DE 1919. COLECCION PRINZHORN

así una mezcla de obras que abarcaban la gama entera de calidades, desde esbozos banales hasta auténticas obras de arte realizadas de un modo peculiar y sin precedentes, pasando por bosquejos mediocres.

En este material se inspiró Prinzhorn para redactar *La pintura de los enfermos mentales*, libro publicado en 1922, que tuvo rápidamente una gran difusión y que sigue siendo considerado una obra capital sobre la relación entre locura y arte. Prinzhorn analizó y clasificó los cuadros según sus características formales, desde los garabatos más simples hasta las obras pictóricas simbólicas más complejas. En diez retratos y análisis seleccionados de “maestros” esquizofrénicos de su colección relacionó la obra del artista con su historia vital. Puso así de manifiesto la individualidad de los enfermos, sacándolos del anonimato que comportaba el “fondo de saco de los diagnósticos psiquiátricos”. Pero evitó siempre valorar los cuadros exclusivamente como una expresión de la enfermedad: “Aquel que no sea capaz de establecer un diagnóstico sin la ayuda de estos recursos”, escribió a propósito de

los cuadros, “tampoco lo establecerá más fácilmente con ellos”.

Los pacientes cuyos cuadros recopiló Prinzhorn pintaban en su mayoría por propia iniciativa, sin instrucción previa de ningún tipo. ¿Qué les impulsaba a hacerlo? Prinzhorn también creía que todo hombre abrigaba en su interior un impulso creador enterrado por el proceso de civilización. La esquizofrenia podía estimular dicho impulso artístico, incluso en quienes carecían de experiencia alguna.

Exactamente en ese mismo sentido interpretaron su libro los artistas de vanguardia. Consideraron aquellos trabajos, a menudo excéntricos y grotescos, como auténticas formas originarias de creación, comparables con el arte “no deformado” de los niños o de los primitivos. Alfred Kubin (1877-1959), dibujante y escritor, visitó la colección en Heidelberg y escribió sobre ella una reseña entusiasta. Está comprobado que la obra de Prinzhorn influyó en Salvador Dalí, Paul Klee, Max Ernst y Pablo Picasso; los surrealistas de París se referían a ella llamándola su “Biblia”.

La suerte posterior de la colección constituye un reflejo de la cultura y de

37 Z 807 Z 808 Z 809 Z 810 Z 811 Z 812 Z 813 Z 814 Z 815 Z 816 Z 817 Z 818 Z 819 Z 820 Z 821 Z 822 Z 823 Z 824 Z 825 Z 826 Z 827 Z 828 Z 829 Z 830 Z 831 Z 832 Z 833 Z 834 Z 835 Z 836 Z 837 Z 838 Z 839 Z 840 Z 841 Z 842 Z 843 Z 844 Z 845 Z 846 Z 847 Z 848 Z 849 Z 850 Z 851 Z 852 Z 853 Z 854 Z 855 Z 856 Z 857 Z 858 Z 859 Z 860 Z 861 Z 862 Z 863 Z 864 Z 865 Z 866 Z 867 Z 868 Z 869 Z 870 Z 871 Z 872 Z 873 Z 874 Z 875 Z 876 Z 877 Z 878 Z 879 Z 880 Z 881 Z 882 Z 883 Z 884 Z 885 Z 886 Z 887 Z 888 Z 889 Z 890 Z 891 Z 892 Z 893 Z 894 Z 895 Z 896 Z 897 Z 898 Z 899 Z 900 Z 901 Z 902 Z 903 Z 904 Z 905 Z 906 Z 907 Z 908 Z 909 Z 910 Z 911 Z 912 Z 913 Z 914 Z 915 Z 916 Z 917 Z 918 Z 919 Z 920 Z 921 Z 922 Z 923 Z 924 Z 925 Z 926 Z 927 Z 928 Z 929 Z 930 Z 931 Z 932 Z 933 Z 934 Z 935 Z 936 Z 937 Z 938 Z 939 Z 940 Z 941 Z 942 Z 943 Z 944 Z 945 Z 946 Z 947 Z 948 Z 949 Z 950 Z 951 Z 952 Z 953 Z 954 Z 955 Z 956 Z 957 Z 958 Z 959 Z 960 Z 961 Z 962 Z 963 Z 964 Z 965 Z 966 Z 967 Z 968 Z 969 Z 970 Z 971 Z 972 Z 973 Z 974 Z 975 Z 976 Z 977 Z 978 Z 979 Z 980 Z 981 Z 982 Z 983 Z 984 Z 985 Z 986 Z 987 Z 988 Z 989 Z 990 Z 991 Z 992 Z 993 Z 994 Z 995 Z 996 Z 997 Z 998 Z 999

6. LAS VOCES NUNCA ENMUDECEN.

Así transformaba el artista norteamericano Richard Lachman sus alucinaciones en pinturas. (*The voices never stop*, 1965).



RICHARD LACHMAN: "THE VOICES NEVER STOP", 1965. TOMADO DE: THOMASHOF & NABER, PSYCHE UND KUNST (PSIQUE Y ARTE), EDITORIAL SCHATTAUER 1979, P. 128.



5. LA EQUIVOCACION HECHA ARTE.

El comerciante de Magdeburgo Heinrich Grebing (1879-1940) esperaba poder volver a encontrar, en las interminables columnas de números, el antiguo sentido perdido del mundo. Pero también aquí el sentido se quebraba: aparecía un error y aniquilaba de golpe el orden primoroso.

trapesos en sus extremos, da la impresión de balancearse grácilmente sobre la tierra. El rostro del hombre está oculto por una bufanda o una tela, como si estuviera enmascarado o amordazado. En la esquina superior derecha Foster anotó lo siguiente: "Esto debe representar que, cuando uno no tiene ningún peso corporal con el que deba cargar, se puede ir entonces a gran velocidad por el aire".

El cuadro muestra también a un hombre que ha perdido su propio peso y el suelo firme bajo sus pies y tiene que proveer de una gravedad artificial; un hombre al que la enfermedad le ha arrabado su capacidad natural de comunicación y que busca, subido en unos zancos, sin contacto de ningún tipo con el suelo, su camino por el mundo. Y que, sin embargo, por un momento también es capaz de vibrar de alegría, pues, como Foster se encarga de recordarnos, este mismo hombre "puede ir entonces a gran velocidad por el aire".

El psiquiatra Ludwig Binswanger (1881-1966) describió este artificioso rasgo vital como amaneramiento o afectación. Citaba como ejemplo el sentir de uno de sus pacientes: "Estoy como si hubiera sido introducido en el mundo atado por un hilo y en cualquier momento pudiera ser tirado hacia arriba y arrancado fuera del mismo". Al esquizofrénico le falta la fijación al suelo. Ha perdido el fundamento de su existencia y el contacto con los otros y no tiene más remedio que arreglárselas con una existencia postiza, artificiosa y peculiar.

Lógica horadada

Muchas obras de la Colección no carecen de racionalidad. Se evidencia, por ejemplo, en las pinturas de Josef Grebing (nacido en 1879 y muerto posiblemente en 1940), poseedor de un saber enciclopédico. Su vida descarriló por la psicosis y se rompió finalmente en mil pedazos. Desesperado, el comerciante de Magdeburgo recogió los fragmentos restantes y los juntó, en la esperanza de que en las interminables listas, filas y calendarios que realizaba pudiera encerrarse el antiguo sentido perdido del mundo. Con ese

objetivo, ordenó y sistematizó compulsivamente columnas de números y las embelleció artísticamente con símbolos y ornamentos. En estos sistemas, tablas y cálculos minuciosamente elaborados, se reconoce a menudo una lógica horadada, que opera, diríase, en paralelo a la normal; refleja aquélla a ésta como si de su espejo se tratara, pero sin encontrarse nunca ambas. En la lógica agujereada se producen también fracturas; el orden conduce al absurdo. En una hoja, llena de números en miniatura, Grebing tiene que tachar una cifra y el pulcro orden queda



CARL LANGE. SIN TÍTULO, ALREDEDOR DE 1900, LANTZ SOBRES PAPER DE DIBUJO, COLECCIÓN PRINZHORN. INSCRICIÓN: "SE GIRA LA IMAGEN SUPERIOR Y SE OBTIENE LA INFERIOR"

7. LA PLANTILLA-PRUEBA.

Carl Lange (1852-1916) se sentía víctima de una conspiración asesina. Como prueba aportaba dibujos, supuestamente descubiertos en sus zapatos, a los que consideraba "sagradas plantillas milagrosas".

la incultura del siglo pasado. Antes de 1933 se multiplicaron las exposiciones. Pero a partir de entonces los nacional-socialistas utilizaron las obras con fines propagandísticos en "Arte degenerado", exposición itinerante que ya hemos mencionado. Tras la guerra, la colección cayó en el olvido y su delicado material pictórico permaneció abandonado. Sólo en los años sesenta volvieron a hacerse algunas pequeñas exposiciones con los cuadros. A comienzos de los ochenta, Inge Jádi, de la Clínica Psiquiátrica Universitaria de Heidelberg, empezó a archivar y conservar con criterios científicos las obras. Su exhibición en Londres, Lisboa y Nueva York ha atraído a cientos de miles de visitantes. En el año 2001 se hizo por fin realidad la idea de Wilmanns de dotar a la colección con una sede permanente en Heidelberg: el 13 de septiembre de ese año se inauguró el Museo de la "Colección Prinzhorn".

Como emblema oficial de la Colección se eligió un cuadro, pintado en 1916 por Josef Foster (nacido en 1878, aunque se desconoce el año de su muerte), que vivió en el hospital psiquiátrico de Ratisbona. Muestra una frágil figura masculina que, suspendida en el aire mientras sujeta con las manos unos largos zancos con con-

JOSEF SCHNELLER (SELL): "MIRIADAS-DE-RESURRECCIONES-DEL-MAS-ALLA", COLLAGE; LAPIZ, PASTEL, PINTURA OPACA; COLECCION PRINZHORN



8. MIRIADAS-DE-RESURRECCIONES-DEL-MAS-ALLA. Durante su psicosis, el dibujante de planos de construcción Josef Schneller (1878-1943) plasmó, en un collage elaborado con una técnica extremadamente precisa, sus mundos fantásticos y sus fabulosas visiones arquitectónicas.

de golpe aniquilado. Entre sus calendarios seculares, se encuentra uno al que Grebing llamó “El calendario del verdugo y del asesino ladrón”, con el que posiblemente quiso mostrar que, tras la seguridad del orden, le acechaba la muerte.

Grebing nos pone la quiebra del mundo ante los ojos, nos muestra la fractura de la estructura mental que nos lleva a cometer fallos de escritura. Sus creaciones, “obras de arte surgidas del error”, no fueron concebidas ni pensadas como tal, sino que las acabó realizando así, con esos errores, debido a la coacción que sobre él ejercía la amenaza externa de disolución y de muerte.

Como se manifiesta en estos ejemplos, la capacidad expresiva de los artistas, en relación con ese impreciso impulso creador, es enorme. Los esquizofrénicos se encuentran anegados a menudo por imágenes interiores, exuberantes asociaciones e intensas impresiones externas. Nuestro lenguaje no encuentra, en la mayoría de las ocasiones, expresiones adecuadas que permitan reflejarlas. En esta situación, la pintura abre a los enfermos un mundo ilimitado de posibilidades, donde poner orden y dar forma a sus opresivas e inefables experiencias.

Pintar o dibujar significa tener la capacidad de convertir un bosquejo interno en una realización visible. El enfermo puede configurar más fácilmente el espacio del cuadro que la amenazante realidad externa. Dado que el esquizofrénico está condenado a la pasividad frente a sus experiencias psicóticas, la actividad pictórica le proporciona una experiencia de cómo “actuar en correspondencia”. Al bosquejo interno le sigue la acción y un resultado visible; ello le ayuda a arraigarse de nuevo en la realidad. Algunos artistas esquizofrénicos, así Adolf Wölfli, consiguieron incluso disolver sus alucinaciones mediante este proceder. Un buen ejemplo de su eficacia terapéutica lo ofrece también Richard Lachman (nacido en 1928). Su cuadro *The voices never stop* lo pintó durante un episodio psicótico agudo.

La lucha contra las alucinaciones

Observando los cuadros podemos hacernos una idea aproximada de lo que uno debía de sentir al oír voces. El propio Lachman escribió más tarde a este respecto: “Durante el tiempo que pasé en el hospital oía voces que me decían lo que debía hacer. Cuando pinté este cuadro, estaba tan enfermo que no podía distinguir si existían realmente o tan sólo estaban en mi espíritu. Me sentía como expuesto a ataques de hombres y fuerzas que merodeaban a mi alrededor”. Lach-



BARON HYACINTH VON WIESER (HENRICH WELZ, 1832-1912) “OJEADA A LA IDEA DE PODER”, COLECCION PRINZHORN

9. HILADAS Y ANUDADAS. “... expuesto a la amenazante disolución, el artista se salva en el espacio mágico que ensambla las cosas: su desobediente e ingobernable pensamiento; su cuerpo descompuesto y despojado de su unidad. Y también las tonalidades, las palabras y las imágenes que le oprimen, primero hiladas y anudadas entre los puntos mágicos con líneas tan extremadamente sensibles como fibras nerviosas desnudas, después concretadas en simples curvas y signos que anuncian el definitivo silencio.” (Inge Jádi.)

man cuenta también cómo, en el transcurso de su enfermedad, la pintura le permitió “comunicar algo a través del cuadro, en vez de permanecer aferrado como víctima en el centro de la enfermedad... en lugar de dirigir todos mis pensamientos hacia mí mismo, comencé a establecer relaciones con los otros”.

El paciente puede sentirse así sujeto activo y determinado en un espacio protegido y simbólico. Por eso, la pintura le sirve de contrapunto o de espejo en el cual consigue, a pesar de su desfiguración, reconocerse a sí mismo y también su mundo propio. Y, por último y no por ello menos importante, la pintura le permite expresar lo que tan sólo con mucha dificultad puede transmitirse con palabras. El cuadro se transforma, pues, en una invitación para que los otros se comuniquen con él. Pues el mundo preverbal de las imágenes, los colores y las formas es común a todos nosotros y no necesita de ninguna gramática refinada.

Tras los cambios radicales que el concepto de arte ha experimentado en el siglo veinte, podemos aceptar sin ningún esfuerzo la excentricidad de tales obras, sin observarlas — ni tampoco a los artistas que las realizaron — bajo el prisma de la enfermedad. En estas extrañas

y caprichosas estructuras defensivas, plasmadas en forma de pinturas, contra la insoportable experiencia de la existencia psicótica asoma algo de la tragedia del hombre situado ante los abismos del alma. Por esta razón, los cuadros representan un puente hacia el mundo de los enfermos, aun cuando a veces nos lleve mucho tiempo reconocerlo y atravesarlo.

THOMAS FUCHS comparte la docencia en la facultad de medicina de la Universidad de Heidelberg con la práctica en el hospital clínico psiquiátrico. En el marco de la psicopatología fenomenológica, investiga cómo permutan, en las enfermedades psíquicas, vivencia subjetiva y expresión.

Bibliografía complementaria

BLICKWEISEN - SEHWINKEL - HORIZONTE. I. Jádi, en *Wahnsinnige Schönheit, Prinzhorn-Sammlung* (Katalog zur Ausstellung). Verlag das Wunderhorn; Heidelberg, 1977.

WAHN WELT BILD. DIE SAMMLUNG PRINZHORN. Dirigido por T. Fuchs, I. Jádi, B. Brand-Claussen, C. Mundt. Heidelberg Jahrbücher; Springer, 2002.

Diagnóstico precoz de la esquizofrenia

Desde hace más de un siglo, la esquizofrenia constituye un misterio para los investigadores. Pero se han logrado avances considerables en los últimos años, sobre todo en el diagnóstico precoz

Katja Gaschler y Armin Schulz

Heinz Häfner dirige el grupo de trabajo sobre investigación en la esquizofrenia del Instituto Central de Salud Mental de Mannheim, que él mismo fundó y dirigió hasta 1994. Este catedrático emérito de psiquiatría de la Universidad de Heidelberg es miembro asesor de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y portavoz para el área “detección e intervención precoces” de la Asociación para la investigación de la “red de esquizofrenia”. Con él ha dialogado *Mente y cerebro*.

Myc: Profesor Häfner, usted ha elaborado instrumentos precisos para reconocer a las personas con mayor riesgo de esquizofrenia. ¿Cómo justificaría este tipo de pruebas?

Häfner: Como casi todas las enfermedades, la esquizofrenia no empieza de la noche a la mañana. El trastorno se anuncia, aunque con manifestaciones poco características al principio, que casi nadie relaciona con una verdadera enfermedad psíquica.

Nuestro propósito es reconocer pronto a las personas con alto riesgo de esquizofrenia y tratarlas antes de que aparezcan los síntomas psicóticos del tipo de ideas delirantes o alucinaciones. De esta manera, confiamos en demorar el brote de la psicosis esquizofrénica y aminorar o, tal vez, prevenir sus secuelas.

Myc: Los primeros centros alemanes para la detección precoz de la esquizofrenia comenzaron a operar hace casi tres años. ¿Por qué no lo han hecho antes?

Häfner: Los centros para la detección y el tratamiento precoz existen en Alemania desde que el Ministerio federal de Investigación promoviera la red sobre esquizofrenia. Además, hasta ahora sabíamos muy poco acerca de la evolución precoz de este trastorno.

Es verdad que algunos psiquiatras prestigiosos, como Emil Kraepelin o Eugen Bleuler y, más adelante, Gisella Gross y Gerd Huber, ya habían advertido de la frecuencia de los signos que auguran la psicosis esquizofrénica aguda.

Sin embargo, hasta la fecha nadie los había investigado de forma metódica y exacta. Sospecho que nosotros fuimos los primeros en ocuparnos de modo sistemático de este asunto en 1986 con nuestro estudio ABC.

Myc: ¿En qué consistió este estudio?

Häfner: Partimos de una muestra aleatoria de la población, cercana a 1,5 millones de personas, y examinamos quiénes habían recibido tratamiento por el primer episodio psicótico. Mediante un instrumento propio, concebido para el estudio, encuestamos a 232 enfermos y examinamos a fondo su desarrollo personal, el brote y el curso inicial de la enfermedad. Luego, repetimos la entrevista



PHILIPP ROTH

ta a los familiares y a varones y mujeres sanos coetáneos. Por último, comparamos los datos con los registros de los médicos de cabecera y otras fuentes.

El resultado fue sorprendente: la enfermedad de dos tercios de los afectados se había manifestado, como mínimo, un año antes de que se iniciara el tratamiento. Es más, ¡el promedio alcanzaba los 5 años!

Myc: ¿Qué sucedió durante ese tiempo?

Häfner: La enfermedad suele comenzar con depresión, angustia y agitación. Los trastornos del pensamiento y de la concentración también son frecuentes al principio. La autoestima disminuye con asiduidad y se pasa a un estado de apatía, desconfianza y retraimiento.

La función disminuye y lo hace con tal intensidad que el rendimiento escolar o profesional del afectado se bloquea o incluso entra en una fase decadente. Cuando estas personas acuden por primera vez al psiquiatra, no es nada raro que se encuentren en el estrato más bajo de la escala social. Por eso, antiguamente se pensaba que la esquizofrenia era una enfermedad de las capas menos favorecidas. Con todo, el declinar social no es la causa, sino, más bien, la consecuencia de la enfermedad psíquica.

Myc: ¿Cómo se puede reconocer la esquizofrenia en sus primeras fases?

Häfner: A raíz de nuestro estudio hemos elaborado un procedimiento en dos etapas. En la primera procuramos cribar a las personas que manifiestan un riesgo ligeramente elevado para el trastorno esquizofrénico. Con ese propósito recurrimos a una lista de 17 preguntas para comprobar los diferentes síntomas y trastornos de la conducta y del pensamiento.

En principio, esta lista debería aplicarse allí donde acuden por primera vez

las personas con problemas psíquicos, ya sea por parte de los médicos de cabecera o de los tutores docentes. Si se obtiene un resultado positivo, el médico debe remitir al paciente a alguno de los centros para el diagnóstico y tratamiento precoces, donde proseguirá la segunda etapa de detección del riesgo.

Myc: ¿Qué sucede en la segunda etapa?

Häfner: En principio, la persona que acude debe responder a 110 preguntas diferentes sobre síntomas y comportamiento. Esta entrevista también se ha basado en los resultados de nuestra investigación y contiene una escala temporal. Para reconocer la enfermedad no sólo hemos de averiguar si existen los síntomas característicos, sino también si han progresado de manera cuantitativa y si han empeorado. Por otra parte, el paciente debe cumplimentar diversos tests neuropsicológicos, que reconocen los trastornos cognitivos, por ejemplo, los problemas de atención, percepción o memoria.

Entre los indicadores biológicos del riesgo se encuentra, por ejemplo, la denominada fase lenta de los movimientos de seguimiento ocular. En ocasiones, se procede a un estudio estructural o funcional del encéfalo con resonancia magnética. Esta técnica, costosa y laboriosa, brinda información sobre los procesos cerebrales durante la primera fase de la enfermedad.

Myc: ¿Cómo les comunican ustedes a los pacientes que pueden sufrir pronto una esquizofrenia?

Häfner: Hemos de actuar con mucha prudencia. Nadie puede predecir, en estos momentos, con la suficiente certeza cómo evolucionará un paciente durante los 5 años posteriores, ni siquiera aunque exista un riesgo estadístico elevado. Además,

los estadios incipientes de la esquizofrenia se parecen a los de la psicosis afectiva, por ejemplo, la depresión; sólo es posible separarlos más adelante.

El médico ha de considerar la carga psíquica que puede suponer para el paciente y su familia una predicción, quizá falsa —o aun verdadera—, de una enfermedad psíquica grave.

Myc: Pero, ¿qué es, entonces, lo que hacen?

Häfner: Nosotros informamos al enfermo del modo más objetivo posible sobre su estado actual. El riesgo implica un posible o probable deterioro de su estado psíquico. El médico ofrece al paciente medidas preventivas contras-tadas. Sin embargo, el diagnóstico sólo se puede establecer cuando se tiene certeza de la esquizofrenia.

Myc: ¿Qué sucede si los síntomas empeoran de manera brusca tras obtener el resultado de las pruebas de detección precoz?

Häfner: De hecho, en un 15 % de los casos, el período desde que aparecen los primeros signos hasta que culmina el primer brote no se extiende más allá de 4 semanas. En general, estos pacientes sufren muchísimo. Evidentemente, ante esta situación hay que actuar de inmediato y tratar de manera selectiva los síntomas del enfermo.

Myc: ¿Se ha podido demostrar, en algún caso, el éxito del tratamiento precoz?

Häfner: El primer estudio confirmatorio proviene de un grupo de Melbourne y será publicado muy pronto. De todas maneras, se refiere únicamente al tratamiento de los pacientes con un riesgo altísimo que manifiestan varias características sintomáticas. Estos investigadores han logrado demorar significativamente





la aparición de la psicosis merced a los medicamentos antipsicóticos y a la terapia psicosocial.

Myc: ¿Podría suceder lo mismo con los pacientes que se hallan aún más alejados de la psicosis?

Häfner: Sí. Por ahora también contamos en este campo con un solo estudio, aunque no tan convincente: el grupo de investigación de la Universidad de Harvard ha tratado con los neurolepticos modernos a un pequeño número de hermanos e hijos de enfermos esquizofrénicos. Estos pacientes aún no padecían síntomas psicóticos pero luchaban contra ciertos problemas de la atención y de la memoria, así como contra la marginación social.

Sorprendentemente, estos medicamentos, que normalmente se aplican sólo durante la psicosis esquizofrénica, redujeron los síntomas de forma significativa. Naturalmente, habrá que confirmar este resultado con nuevas investigaciones; no está, por el momento, justificada la administración indiscriminada de medicamentos en la fase prepsicótica. De todas maneras, este estudio abre el camino a la esperanza.

Myc: ¿No estarán matando, en este caso, las moscas a cañonazos? Hay que recordar que los medicamentos poseen efectos secundarios considerables.

Häfner: Los medicamentos utilizados hoy contra la esquizofrenia producen muchas menos reacciones adversas que la primera generación de neurolepticos. Lo que necesitamos, en última instancia, son medicamentos carentes, en la

medida de lo posible, de efectos secundarios, que alivien los trastornos cognitivos y sociales de los pacientes.

No obstante, estoy convencido de que, en algún momento, podremos también prevenir la esquizofrenia, lo mismo que hacemos ya con otras enfermedades graves y frecuentes, como los ictus.

Myc: ¿Qué importancia tiene la psicoterapia para el tratamiento de la esquizofrenia?

Häfner: Conviene distinguir entre la terapia anterior y posterior al brote psicótico. En cuanto a las medidas preventivas, por el momento sólo se contemplan la psicoterapia y la terapia social, pues el resultado de los neurolepticos, que obligaría a justificar la asunción de los efectos secundarios, no se puede considerar aún probado en esta fase de la enfermedad.

Las medidas de psicoterapia pueden mejorar, por ejemplo, una conducta inadaptada o la tendencia al retraimiento social. Asimismo, se puede estimular la conciencia propia y la capacidad para desenvolverse y resolver mejor los problemas cotidianos. En cuanto aparece la psicosis, las medidas de psicoterapia se deben completar con medicamentos.

Myc: ¿Qué tipo de medicamentos?

Häfner: Los neurolepticos de primera generación, como el haloperidol, producen a veces reacciones adversas que dificultan la rehabilitación de los enfermos. Estas sustancias bloquean los receptores dopaminérgicos cerebrales de tipo D₂ e interrumpen la transmisión de los

HEINZ HÄFNER: “Estoy convencido de que, en algún momento, podremos también prevenir la esquizofrenia, lo mismo que hacemos ya con los ictus”

mensajes a través de la dopamina. De todas maneras, no sólo actúan en estas regiones del cerebro, responsables de los síntomas psicóticos, sino también sobre otras, como las del sistema motor extrapiramidal. Por eso, estos medicamentos pueden ocasionar trastornos motores a largo plazo, parecidos a los de la enfermedad de Parkinson.

Myc: ¿Hay alguna alternativa?

Häfner: La segunda generación de antipsicóticos — los denominados neurolepticos atípicos — no bloquean completamente los receptores D₂ y también actúan sobre otros receptores de los neurotransmisores. Por eso, si se administran en dosis equipotentes, producen muchos menos efectos secundarios que los neurolepticos de la primera generación. Pese a todo, algunas sustancias poseen efectos secundarios, como el aumento de peso.

Myc: ¿Cómo actúa la psicoterapia sobre el cerebro?

Häfner: Si se me pregunta qué sucede en el cerebro cuando efectuamos modificaciones psíquicas a través de la terapia, contestaré que nadie tiene todavía una respuesta sencilla.

Se sabe que no hay ningún proceso psíquico que no discorra, al mismo tiempo, en forma de procesos bioquímicos y bioeléctricos dentro de la red funcional del cerebro. Los primeros estudios revelan que con la psicoterapia de las enfermedades compulsivas se producen alteraciones estructurales mensurables en el cerebro.

Myc: ¿En qué manera influyen los familiares en la evolución de la enfermedad?

Häfner: Según los primeros estudios, las tensiones alrededor del enfermo aumentan el riesgo de recaídas. En este sentido, la crítica excesiva y una atmósfera poco amistosa tienen un efecto desfavorable. Los miembros de la familia que se comportan de este modo suelen reaccionar desde un sentimiento de impotencia, quizá porque no logran que el paciente siga la higiene corporal necesaria, acuda al trabajo o salga de la cama. En estos casos, una buena terapia familiar ayuda tanto al paciente como a sus familiares y puede, como se ha demostrado, evitar las recaídas.

Neurodidáctica

Al aprender cambian los circuitos del cerebro. De su estudio se ocupa una nueva disciplina, la “neurodidáctica”. Postula que los neurólogos pueden ayudar a profesores y pedagogos a desarrollar mejores estrategias didácticas

Gerhard Friedrich y Gerhard Preiss

Con el primer día de clase después de las vacaciones del verano ha vuelto a empezar para diez millones de niños y jóvenes alemanes la cara seria de la vida. En las aulas, ochocientos mil profesores tratan de enseñar a sus alumnos los temas necesarios para una formación básica cabal. Se enseñan y aprenden muchas cosas y muy variadas: desde leer y escribir, pasando por la guerra de los Treinta Años, hasta el cálculo diferencial e integral. Pero, ¿realmente logra la escuela comunicar lo que la nueva generación necesita para tener un futuro afortunado?

Más bien no. De lo contrario, el sistema escolar alemán no hubiera quedado en los últimos lugares en el informe PISA. Incluso en capacidades fundamentales como lectura y ortografía los escolares germanos mostraron deficiencias escandalosas. (En España, los colegios alemanes ocupan, sin embargo, un lugar destacado en rendimiento académico.) Después de un breve aturdimiento, producto de la sorpresa, políticos y pedagogos buscan febrilmente las razones de este “fracaso escolar”. Las preguntas se dirigen preferentemente a la didáctica general, es decir, a esa parte de la pedagogía que se ocupa, con independencia de la materia, de cómo se enseña y aprende con la mayor eficacia.

Mientras ya hace decenios que filósofos, psicólogos, antropólogos y sociólogos debaten sobre la cuestión, la investigación del cerebro se había quedado fuera de la problemática didáctica. Una auténtica paradoja. En último término, el aprender tiene lugar en la cabeza; todo proceso de aprendizaje va acompañado de un cambio en el cerebro. Por eso la neurobiología representa necesariamente el fundamento científico sobre el que se deberían edificar las teorías didácticas modernas.

De esta idea partimos, cuando hace unos años fundamos una nueva disciplina, la “neurodidáctica”. Intenta configurar el aprendizaje de la forma que mejor encaje en el desarrollo del cerebro. Sin embargo, este planteamiento sigue encontrando la oposición de los pedagogos de formación exclusivamente humanista (“de letras”). Pero a nadie se le ocurriría la idea de construir una casa con pintores, fontaneros o jardineros, prescindiendo de un arquitecto. Porque, a la luz de los nuevos conocimientos de la investigación cerebral en torno al aprendizaje, resulta evidente que muchos supuestos educativos son muy elementales.

Por ejemplo, las tesis de Jean Piaget. El patriarca suizo de la psicología evolutiva, fallecido en 1980, sostenía que el desarrollo evolutivo de los niños transcurre por etapas que sistemáticamente se sucedían unas a otras. Capacidades y errores lógicos característicos marcarían a cada una de tales etapas, que establecerían los límites del aprendizaje en función de la edad. En uno de sus experimentos más famosos Piaget, ante niños en edad preescolar, vertía agua de un recipiente ancho en otro más estrecho. La mayoría de sus pequeños se aferraban a que el recipiente más delgado tenía más agua: porque el nivel era más alto.

Piaget lo atribuyó a que los retoños sólo podían tener en cuenta esa dimensión —la altura— y que pasaban por alto la anchura y la largura. Su conclusión: en la fase “preoperacional”, que llega hasta aproximadamente los seis años, los párvulos no suelen estar en condiciones de tomar en consideración a la vez, en la comprensión del mundo, varias informaciones y de combinarlas con sentido. Por consiguiente, debido a esa incapacidad para el pensamiento lógico, no merecía la pena tratar de enseñar a un preescolar el cálculo.

Andando el tiempo se ha sabido que los pequeños realizan, sin la menor difi-

cultad, esas operaciones intelectuales, siempre y cuando se les comunique en consonancia con su edad. Algunos niños tienen, con sólo tres años, una captación de las relaciones físicas fundamentales. Pueden apreciar velocidades en la medida en que asocian correctamente el espacio con el tiempo. Comprenden también el principio de Arquímedes, es decir, que un cuerpo flota sólo cuando su densidad es menor que la del agua.

Hasta los lactantes poseen un potente conocimiento básico. Bebés de sólo cuatro meses llegan a distinguir, en un panel, entre cuatro y seis puntos (el primer paso del cálculo). Los pequeños “gateadores” muestran una sensibilidad matemática al ordenar sus peluches por tamaños. Los niños intentan siempre desarrollar este conocimiento intuitivo, sólo que lo hacen de forma diferente de los adultos. La máxima del primer año de vida reza “aprender haciendo”. Los pequeños científicos llevan a cabo, sistemáticamente, concentrados y, en la mayoría de los casos, con consecuencias firmes, experimentos o toda una serie de intentos de los que derivan teorías, que ulteriores ensayos corroboran o revisan. Cuando, después de lanzarlo al aire cientos de veces, el cubo de madera siempre cae al suelo, el retoño sabe, aunque sin poderlo conceptualizar, que hay algo, a lo que nosotros llamamos fuerza de la gravedad. Estudios del comportamiento han mostrado que los niños amplían rápidamente después sus conocimientos, si tienen la posibilidad de ensayar muchas veces. Si Piaget hubiera hecho pasar el agua de un recipiente a otro un par de veces, la mayoría de los niños hubiera llegado a la conclusión correcta.

Los neurobiólogos describen el cerebro como un sistema activo que, con una base segura en conocimientos previos, llega al mundo e inmediatamente empieza a hacer preguntas al entorno. Desde el primer lloro, los infantes se dedican a descubrir lo que acontece a su alrede-



1. GEOMETRIA EN EL CAMPO. El jardín de los números (modelo de Ralf Beck) en el Instituto de Enseñanza Media Max Planck de Bad Krozingen presenta los números, del uno al diez, en forma de figuras geométricas: desde el círculo de un metro cuadrado de superficie (*izquierda*) siguiendo, en sentido contrario a las agujas del reloj, hasta el decágono con diez metros cuadrados de superficie.

dor. Durante mucho tiempo se ha tenido por cierto que la capacidad productiva del cerebro —y, por tanto, también su potencia de aprendizaje— estaba genéticamente preprogramada, como pasa con el color de los ojos o del pelo. Pero experimentos con animales muestran que el patrimonio hereditario fija tan sólo el equipamiento básico del plan de ejecución neuronal. La corriente de información de los órganos de los sentidos y las constantes interacciones activas con el entorno determinan después qué aprendemos y qué talentos desarrollamos.

Chocolate para novatos

Cada ser humano tiene al nacer unos cien mil millones de células nerviosas, una cantidad que va disminuyendo ligeramente a lo largo de la vida. En los dos primeros años de vida aumentan preferentemente las terminaciones por las que cada neurona envía señales a más de otras mil. Los lugares singulares de contacto, las sinapsis, transmiten las infor-

maciones entre las células. Más de cien billones (10^{14}) de tales conexiones sinápticas unen las neuronas a las redes locales, que se pueden comunicar entre sí incluso a distancias algo más largas.

Al principio se da un superávit de sinapsis entre las neuronas, sinapsis que están uniformemente distribuidas. Pero, cuando ciertas neuronas reaccionan ante unas características que con frecuencia aparecen asociadas y que suelen dispararse sincrónicamente, se refuerzan las sinapsis entre dichas células nerviosas y se mantienen a largo plazo. Por ejemplo, un chocolate caliente presenta varias características que estimulan a sentidos distintos: es líquido, marrón, tiene un olor característico, un sabor amargo, si no se le ha añadido azúcar, y uno se puede quemar la lengua al probarlo. Cada taza que se bebe un niño refuerza la conexión sináptica entre los grupos de neuronas que están activados en ese momento. Después de unas cuantas tazas, el cerebro ha encadenado de

ese modo las informaciones aisladas en una imagen de conjunto. El retoño conoce ahora cómo sabe un buen chocolate y puede apelar, una y otra vez, a este conocimiento. Y a la inversa, se rescinden, con el paso del tiempo, las conexiones existentes entre células nerviosas que nunca trabajan al mismo tiempo.

Al modo de un escultor, que de un bloque de piedra va sacando a golpes los trozos sobrantes y crea una escultura, los procesos de aprendizaje modelan el cerebro, que tiene un superávit de sinapsis. Se ocupan de que desaparezcan las conexiones poco utilizadas y de que, por el contrario, se refuercen y se consoliden las más activas. Todo lo que aprendemos —desde los primeros tientos, pasando por el habla y la familiaridad imaginaria con la vida de los pokemones, hasta el vocabulario inglés— modifica nuestras redes neuronales. El desarrollo de las capacidades cognitivas y el del cerebro están, por tanto, inseparablemente ligados uno con otro y, por ello, también la didáctica y la neurología. Sólo la colaboración entre ambas puede desarrollar nuevas estrategias de aprendizaje que tengan más en cuenta a los niños, con las que profesores y educadores pueden conocer mejor y hacer prosperar los talentos de sus pupilos.

Y quien sabe cómo y bajo qué condiciones se modifica el cerebro al aprender es quien puede enseñar mejor.

Aunque los humanos no acaben de aprender nunca, los fundamentos del conocimiento posterior ya se ponen, en gran parte, en la infancia. El dicho popular “Lo que Juanito no aprende, jamás lo aprenderá Juan” tiene un fundamento neurobiológico. Las asociaciones entre neuronas se deciden, sobre todo, en los primeros quince años de vida. Hasta esa edad se va configurando el diagrama de las células nerviosas. De entonces en adelante, la maduración cerebral queda en buena medida concluida; se delimitan, al menos a grandes rasgos, las pistas por donde pensará el adulto. Aunque las redes neuronales dispondrán todavía de cierta plasticidad, las sinapsis habilitadas se refuerzan o se debilitan hasta una edad avanzada por medio de nuevos estímulos, vivencias, pensamientos y acciones; gracias a ello, nunca se termina de aprender. Sin embargo, después de la pubertad es menos fácilmente moldeable y las nuevas conexiones sinápticas son más raras. Por eso retenemos lo nuevo con tanta más dificultad cuanto más tardamos en querer apropiárnoslo.

Que los pequeños son los que mejor aprenden lo sugieren las investigaciones de Erik Knudsen, fisiólogo y etólogo de la Universidad de Stanford. En sus experimentos con juveniles de lechuzas, les colocó unas gafas con prismas de inversión. Veían, pues, el mundo cabeza abajo. Tres semanas más tarde las rapaces se habían acostumbrado al mundo invertido y podían orientarse sin ninguna dificultad. Les retiró las gafas y las aves volvieron, tras un breve intervalo temporal, al modo original de percepción. Cuando estas mismas rapaces llegaron al estadio adulto, Knudsen volvió a ponerles y quitarles las gafas. ¿Qué sucedió? Se adaptaron sin dificultad a las dos formas de visión. Habían aprendido de jóvenes ambas perspectivas. Si les ponía las gafas por primera vez en estado adulto, las lechuzas no se habituaban.

Menester ha de aprender...

Así pues, es bueno fomentar las sinapsis en los niños cuanto antes y que éstas abarquen la mayor diversidad posible; por ejemplo enseñándoles lenguas extranjeras. Podría ser razonable ponerles casetes en inglés a los retoños desde que gatean. Aunque no lleguen a entender una palabra, el mero oír desarrolla, en diversas áreas del cerebro, las vías neuronales responsables de la posterior adquisición de esa lengua.

Una de esas regiones cerebrales es el área de Wernicke, que se ocupa del lenguaje. Corresponde a este centro diferenciar y clasificar los elementos de una lengua. Cuando recibe un sonido, el cerebro del niño rastrea su entorno en busca de modelos acústicos característicos. Si encuentra uno que tenga sentido, lo registra en el centro de Wernicke. Paso a paso, se forma una memoria de los sonidos del entorno lingüístico. Un niño que se ha familiarizado, desde temprana edad, con los modelos acústicos de dos lenguas, posee, más adelante, un fondo más rico de modelos acústicos que otro que ha crecido sólo con su lengua materna.

El responsable fundamental del lenguaje en cuanto tal es el área de Broca. Aquí se desarrolla la memoria de la pronunciación. Imitando los sonidos oídos, el niño aprende a amoldar sus propias expresiones, a diferenciarlas y a distribuir las en los componentes básicos de la lengua. Un trato precoz con una lengua extranjera archiva en dicha área abundantes modelos. Gracias a las redes neuronales, que se desarrollan por el contacto con la segunda lengua, el niño tendrá confianza en las peculiaridades fonéticas de su lengua. Si se encuentra después en la escuela con una palabra inglesa, su cerebro puede recurrir a los circuitos en cuestión. Memoriza con más rapidez nuevas palabras y le resultan también más fáciles los enunciados correctos.

Quien ha crecido desde niño con dos idiomas, ancla lo aprendido en redes tan estables, que sigue dominando la otra lengua aunque transcurran decenios en volver a emplearla. Y esto es también válido para otros ámbitos, como la aritmética. Ejercicios tan lúdicos como el justo reparto de un pastel entre compañeros asientan las bases neuronales de la comprensión matemática.

El desarrollo del cerebro necesita, pues, de la interacción continua con el mundo exterior. Los neurólogos lo han investigado, sobre todo, en el sentido de la vista. Al nacer, las conexiones neuronales de la vista están más o menos predeterminadas por la herencia genética. El ajuste o sintonización fina se realiza, después, en el intercambio con el entorno. Una fase concreta del desarrollo, la llamada fase crítica, reviste especial importancia. Si, durante este lapso de tiempo, el influjo del entorno no es posible o es muy restringido, entonces la capacidad visual se desarrolla sólo parcialmente, si no se pierde del todo.

La fase crítica de una formación sosegada del sistema visual alcanza aproximadamente hasta la edad de la escolarización. Quien en esta etapa no activa la visión y no alimenta su cerebro con informaciones visuales, no aprenderá nunca a ver, pues ya no se pueden formar las necesarias conexiones sinápticas. Y, en principio, esto es válido también para los procesos cognitivos. La



2. EN LA HABITACION ADECUADA. Los párvulos asignan en “la casa de los números” una casa a cada número, del uno al diez. Así, cada número tiene un sitio fijo en la habitación.

diversidad de los estímulos exteriores determina la complejidad con que se conectan y se intercomunican las neuronas (de ello se ha ocupado la evolución). Cuando la experiencia y lo aprendido rigen el desarrollo cerebral es cuando mejor se adapta nuestro órgano central a su entorno.

¿Qué importancia tiene para la didáctica? Si la enseñanza y formación de los niños ofrecen los estímulos intelectuales que necesita el cerebro, se pueden desarrollar las capacidades cognitivas y, en ese caso, también resulta fácil aprender. En la enseñanza preescolar y en la primaria los pedagogos

suelen recelar de capacitar con tino el pensamiento infantil (tal vez porque no quieren sobrecargar a sus pupilos). Pero, precisamente entre los tres y los diez años el cerebro infantil busca sin cesar nuevos alimentos que el mundo ofrece en abundancia: cada segundo golpean a los órganos de los sentidos ininidad de impresiones.

Ratones de carreras en el test de aprendizaje

Pese a ello, no percibimos, ni de lejos, todos los estímulos que nos llegan. Si tal aconteciera, las células grises llegarían muy pronto al límite de sus posibilida-

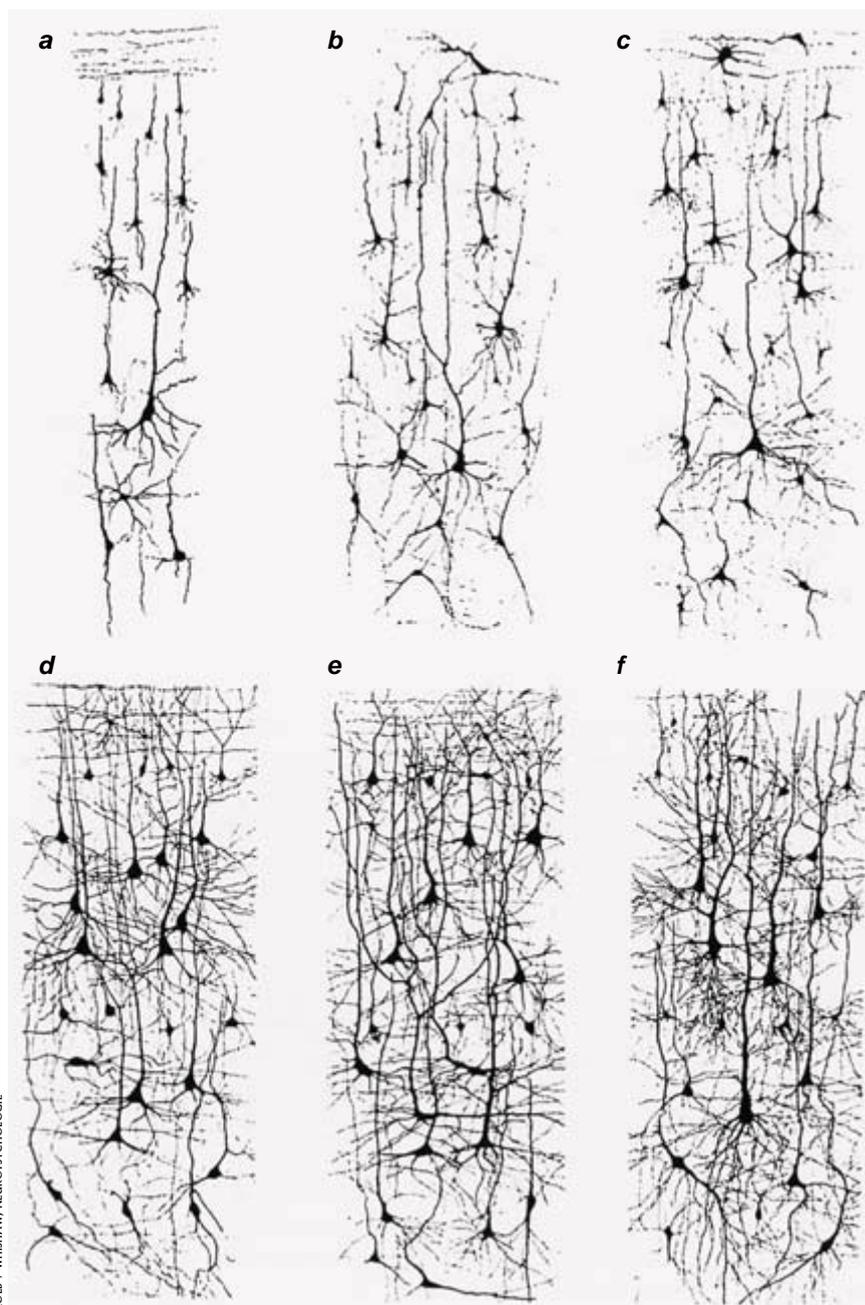
des de ordenar con sentido la abundancia de información. Al contrario, tiene lugar un proceso continuo de selección que destila cada diminuta parte que merece archivar en el cerebro. La atención lo decide. Esta hace que, de entre la plétora de estímulos, los órganos de los sentidos seleccionen los que conviene elaborar conscientemente. Dado que al cerebro le interesan ante todo los cambios operados en el entorno, despiertan casi automáticamente la atención los objetos nuevos, sorprendentes o en movimiento.

Lo desconocido excita sobremanera las redes neuronales. Por eso se archiva fácilmente como información en la memoria. A los niños les encantan las sorpresas y a sus cerebros también. Esto no se limita a ciertos huevos de chocolate y su contenido. Un entorno cambiante y variado que cada día despierte la curiosidad hacia lo nuevo, lleva casi de modo automático a aprender.

Ahora bien, por qué estímulos nos decidamos dependerá, asimismo, de los condicionamientos internos; en primer lugar, del sentido que otorguemos a un suceso. Las expectativas despiertan una atención focalizada. Como el cerebro ha aprendido que los coches pueden venir por calles laterales, al conducir tenemos en cuenta automáticamente esa circunstancia. Estímulos esperados llegan de forma privilegiada, a costa de otros sucesos, a la conciencia, que los elabora con eficacia y los interpreta con celeridad.

Cada noticia de los órganos de los sentidos obliga al cerebro a escudriñar en busca de informaciones que encajen con el fenómeno presente. Afluyen todas las sensaciones y experiencias anteriores. Si, por ejemplo, un nuevo estado de cosas recuerda algo interesante o agradable, el cerebro activa todas las redes nerviosas que guardan alguna relación con él. Les inserta después lo nuevo; ya está aprendiendo.

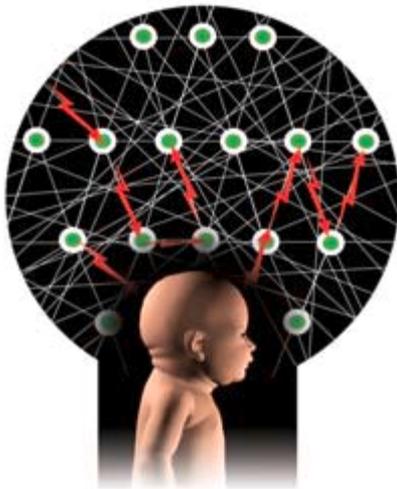
Al propio tiempo, la corteza cerebral se ocupa también de aprender de los estímulos exteriores, sobre todo cuando se relacionan con él mismo. La mayoría de



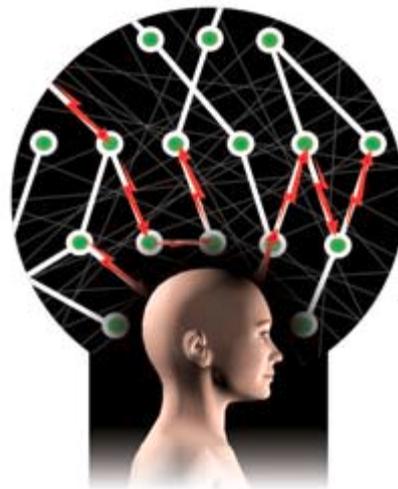
KOLB / WHISHAW, NEUROPSYCHOLOGIE

3. DOS AÑOS CONSTRUYENDO REDES.

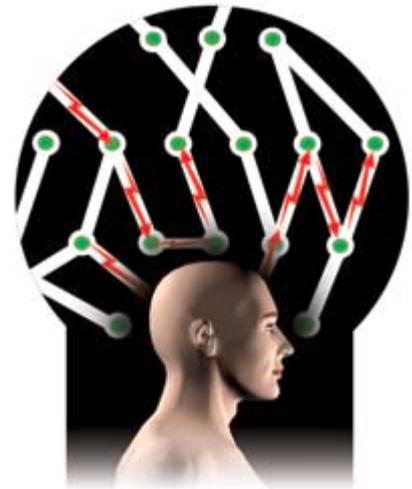
Al nacer (a) las células nerviosas de la corteza cerebral tienen pocos contactos unas con otras, pasado un mes (b) o dos (c) empiezan a formarse múltiples conexiones. A los seis meses (d) la ramificación es notable y va aumentando hasta el segundo año (e, quince meses; f, dos años).



DE 0 A 2 AÑOS



DE 2 AÑOS HASTA LA PUBERTAD



ADULTO

sus células nerviosas reciben señales de otras neuronas corticales y sólo las transfieren a otras células de la corteza cerebral. Motivo: estas células nerviosas comparan continuamente la información sensorial recibida con los contenidos de la memoria preexistentes. Cuantos más datos acertados se dan, mejor se graba lo nuevo. Aprender constituye, pues, un proceso que se autoimpulsa: cuanto más matemáticas o inglés sabe un escolar, tanto más rápidamente progresa en esa materia.

Pero, ¿cómo discurre el día a día escolar? La mayoría de las veces apenas si se intenta consolidar las capacidades del alumno. Muy al contrario, se dedica a compensar las deficiencias que resultan de la comparación entre el programa de clase y lo que los escolares realmente saben. Rige una suerte de patrón que podríamos ejemplificar en la frase siguiente: “Si no entiende ahora el cálculo integral, no alcanza el nivel de la clase”. En vez de aprovechar y consolidar las capacidades de los alumnos, se les atormenta insistiendo en sus puntos débiles.

Puede incluso ser peor. Muchos profesores transmiten la materia siempre del mismo modo. Con frecuencia, los escolares sólo pueden salvarse aprendiendo cabezonamente los contenidos de memoria, sin entenderlos. Desde un punto de vista neurobiológico, esa postura carece de sentido. Si un alumno no ha entendido bien algo, la memorización refuerza precisamente las conexiones defectuosas, al activarlas de nuevo. De ese modo, el error mental se graba más profundo en el cerebro. Ante esa situación, sólo vale cambiar por completo el método de explicar. Aprender algo nuevo cuesta mucho menos que

4. HA DE HABER ORDEN. En los dos primeros años se forma un gran número de conexiones entre las neuronas del cerebro, muchas más de las que serán necesarias más tarde. Luego irán disminuyendo: sólo se mantienen y refuerzan los contactos que se siguen necesitando. Este proceso queda prácticamente cerrado en la pubertad. El adulto tiene a su disposición una red nerviosa bien arraigada, aunque poco capaz de adaptación.

obligar a reorientarse a una red neuronal consolidada.

Al escolar le frustra tanto fracasar una y otra vez en el mismo problema como le satisface vivir un éxito. De esto se encarga el propio cerebro. En el Centro de Investigación Educativa y de la Memoria de Magdeburg, Henning Scheich y Holger Stark han estudiado el líquido cerebral del córtex frontal de los ratones de carreras. Si los roedores habían resuelto bien la tarea propuesta, aumentaba su nivel de dopamina, molécula transmisora. El incremento produce un sentimiento de felicidad con el que el ratón, en cierta medida, se premia a sí mismo.

Las emociones como turboaprendizaje

La dopamina, junto con la acetilcolina —otro neurotransmisor—, provoca, también en el escolar humano, ganas de más. Cuando podemos ordenar una nueva información en una conexión ya existente, es decir, aprender algo nuevo, los dos mediadores no sólo refuerzan nuestra concentración, sino que proporcionan además satisfacción. Quizá por eso nuestro semblante muestra después una sonrisa cómplice.

“Todo lo que, a la hora de aprender, produce contento refuerza la memoria”, sabía ya en el siglo XVII Jan Amos Comenius, uno de los fundadores de la didáctica. Tal vez lo afirmaba por experiencia personal. Hoy está científicamente probado que las

emociones desempeñan un papel decisivo en la formación de la memoria. El responsable es el sistema límbico. Esta parte del cerebro posibilita la amplia gama de estados emocionales: rabia, tristeza, miedo, disgusto, felicidad y placer. Cada señal que llega de los sentidos se dirige a él, en paralelo a la vía que lleva a la corteza cerebral.

El sistema límbico evalúa, pues, directamente los estímulos aferentes, antes incluso de que la conciencia pueda intervenir. Por eso podemos, por ejemplo, reaccionar, presta e instintivamente, ante situaciones peligrosas. Mas el sistema emocional decide también sobre qué estímulos son importantes y valiosos. En el rodeo por la corteza cerebral se compara la situación con experiencias y reflexiones anteriores y así llega a la conciencia. En suma, los sentimientos pueden fomentar el aprendizaje en la medida en que intensifican la actividad de las redes neuronales y refuerzan, por ende, las conexiones sinápticas.

Las informaciones, a las que el sistema límbico ha impreso un sello emocional, se graban profunda y perdurablemente en la memoria. Mientras el mero saber suele borrarse pronto, los sentimientos se mantienen por largo tiempo. El cerebro lo aprovecha asociando diferentes contenidos de la memoria con el mismo matiz sentimental. Esta se reactiva más tarde al aprender y facilita incorporar a la red existente elementos de una situación nueva.

Pero las informaciones teñidas de emoción no sólo hallan mejor el camino a la memoria a largo plazo. Se encuentran, también, más disponibles. Aun cuando se dirían olvidadas las clases de inglés, basta oír la canción favorita de los Rolling Stones para que vuelva a la conciencia la letra. Cuán estrechamente relacionados están sentimientos y recuerdos se puede constatar en el hecho de que algunas alteraciones de la memoria, como las de la enfermedad de Alzheimer, se acompañan siempre de lesiones del sistema límbico.

Jugar ayuda a archivar

La neurobiología pone, pues, de manifiesto que se aprende mejor cuando la materia presenta una componente emocional. No es sencillo, cierto, en determinados contextos difíciles de matemáticas. Pero los pedagogos pueden arreglárselas envolviendo las secas ecuaciones en una historia de suspense. Es también muy importante un entorno educacional sentimentalmente agradable. Fomenta la curiosidad y la motivación de los escolares, de lo que se beneficia el aprendizaje y la enseñanza, sobre todo en contextos algo más complejos.

Que los sentimientos influyen mucho en la percepción y atención lo hemos observado todos alguna vez al leer un libro. Algunas novelas se dejan a uno sencillamente frío, el pensamiento divaga y la lectura causa más pena que placer. Pero si la acción encierra una trama emocional que hace vibrar, uno se concen-

tra y se sumerge en la historia que el sistema límbico convierte en inolvidable.

Esto mismo vale para la enseñanza. Cuando un niño observa algo con indiferencia, es difícil que lo retenga en la memoria. Sólo los sentimientos convierten lo sucedido en la clase en una vivencia personal, en ese caso, lo que se le enseña significa algo para él; y el resultado son los rápidos progresos en el aprendizaje, además de una satisfacción que compensa los esfuerzos precedentes.

Emoción y motivación dirigen, pues, el sistema de atención, que decide qué informaciones se archivan en los circuitos neuronales y, por tanto, se aprenden. Pero difícilmente se puede dirigir la atención a dos cosas al mismo tiempo. La actividad en un circuito inhibe las actividades en los otros. De ahí que carezca de sentido ir cambiando, en clase, de una área a otra. Los escolares necesitan tiempo para hacerse conscientemente con un tema. Si se despierta el interés, podrán concentrarse en la materia y abandonarla tranquilamente después. Desde un punto de vista neurobiológico lo correcto es: primero excitar la red pertinente, retenerla luego activamente y, por fin, dejarla reposar.

Aunque el cerebro es muy superior, en muchos aspectos, a cualquier superordenador, su eficacia también tiene límites. El fielato parece ser el puente entre la memoria a corto plazo y a largo plazo. Toda impresión sensorial, a que el sistema de atención considera relevante, aterriza al principio en la memoria a

corto plazo. Que se fije más permanentemente en el cerebro depende de cuán intensa sea la impresión en el cerebro y de si éste se ocupa de ella. Precisa cambios químicos y eléctricos que, en un principio, tan sólo refuerzan contactos sinápticos muy endeblados. A partir de las vías nerviosas entrelazadas se va formando un modelo de sólidas conexiones, los engramas. Estas conexiones constituyen la memoria a largo plazo.

Sin embargo, el proceso en cuestión se ve alterado por otras muchas informaciones que entran al mismo tiempo en las células grises. No debe sorprendernos que los humanos aprendan mejor cuando se concentran en una materia. Desde una óptica neurobiológica, se hallan justificadas las denostadas tareas para casa, pues las repeticiones de los temas — a ser posible en la más absoluta tranquilidad — fomenta la formación de engramas.

Reviste una importancia no menor el factor tiempo. Hasta que, en los procesos de aprendizaje, las conexiones entre las correspondientes células nerviosas se estabilizan o se debilitan, transcurren muchas horas. Los neurólogos no pueden todavía asegurar cuánto dura esta fase de consolidación. Pero parten de que cuesta menos tiempo apropiarse de algo nuevo en el momento en el que el cerebro consolida con todas sus fuerzas lo ya aprendido. Si así no fuera, se superpondrían los contenidos, lo que compromete la fijación neuronal. Por el contrario, aprender a intervalos tiene mucho más sentido y la didáctica debería tomarlo cada vez más en cuenta. Durante una breve pausa o practicando juegos distendidos, el cerebro de los escolares puede archivar las materias enseñadas.

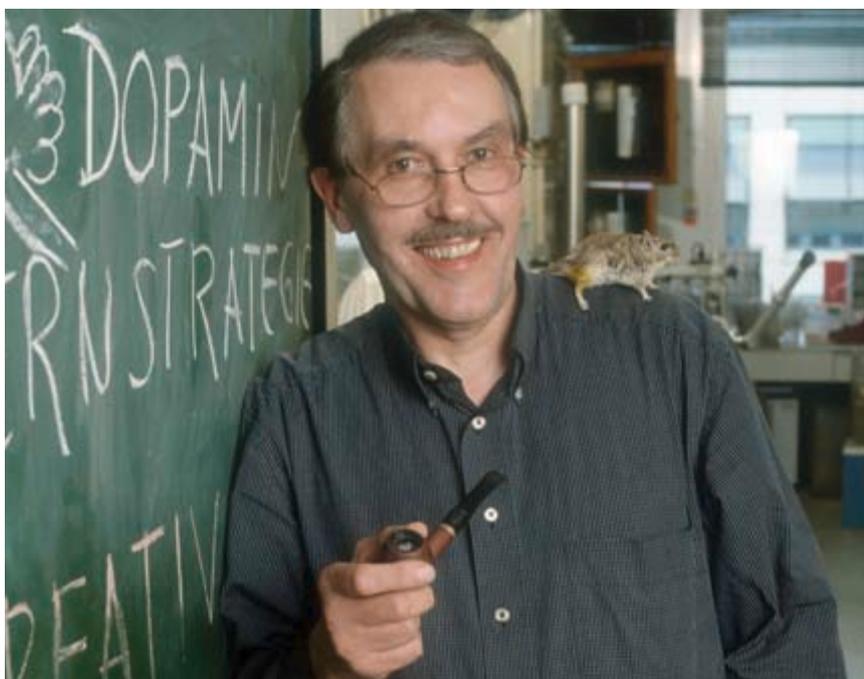
Otro consejo de los neurólogos a los pedagogos: cuanto de formas más variadas se transmita una información, tanto más anclada queda en la memoria a largo plazo. Se aprende con tanta más facilidad cuanto más sentidos intervienen. Puesto que las neuronas se comunican entre sí por impulsos eléctricos, resulta indiferente si se activan por la vista, tacto, oído, movimiento o por mera reflexión.

Humanos con un solo ojo

Cuán eficaz es el aprendizaje multisensorial lo pone de manifiesto nuestro proyecto de guarderías “Descubrimientos en

5. ENTRENADOR DE RATONES.

Henning Scheich, neurobiólogo de Magdeburg, estudia los procesos cerebrales de los ratones de carreras cuando aprenden.



Numerolandia”. Los escolares viven, una hora a la semana, el mundo abstracto y simbólico de las matemáticas como un país multicolor, que invita a unos viajes de exploración. Los niños asignan a un número —de uno a diez— una casa, con la figura y número de la casa, mediante bolas y cubos que corresponden al número (véase figura 2). A uno de los números se le nombra “número del día”. Le atribuyen, de su cosecha, historias fantásticas, por ejemplo, que cada casa es única, que los humanos sólo tienen un ojo y una pierna. Por el “camino numérico” pueden ir aprendiendo, poco a poco, los números. Ante cada número resuelven un acertijo, recitan un verso, entonan una canción y bailan. Después de diez sesiones, la mayoría de los pequeños dominan, jugando, muchos aspectos de los números, ¡y la planificación escolar del ciclo inicial dedica a esta materia gran parte del primer año!

La neurología explica tamaño éxito: la memoria de los humanos funciona por asociaciones. Un aspecto parcial de un estado de cosas almacenado basta, al recordar, para devolver a la conciencia toda la información. Hablando en imágenes: estirar en un punto de la red neuronal implicada saca a la luz la red entera. Si al cerebro se le presenta el tema en las máximas conexiones posibles, aumenta el número de puntos de los que, en caso de necesidad, puede estirar. Así pues, cuanto más variada es la información que se da en clase, tanto mejor.

Con todo, los neurólogos reclaman también condiciones constantes y formas externas permanentes. El cerebro exige cierto orden lógico para almacenar y evocar los contenidos de la memoria. Los proyectos didácticos que no respetan este aspecto dificultan el aprendizaje.

A partir de la forma de trabajar del cerebro se deduce, pues, el principio fundamental de la neurodidáctica: hacer que los infantes aprendan en consonancia con sus dotes y talentos. En esta pedagogía de la competencia no es el plan de estudios el que decide lo que hay que aprender, sino las capacidades personales de los escolares. Tiempo atrás no sólo los pedagogos, sino también muchos neurobiólogos suponían que todos veníamos al mundo con las mismas condiciones previas de aprendizaje. Pero ahora se sabe que las condiciones cognitivas previas están genéticamente dadas sólo en potencia, y que se desarrollan en una interacción con el entorno, es decir, por el aprendizaje.

Cada niño posee su propio repertorio de posibilidades de desarrollo, tiene sus

talentos peculiares, pero también sus limitaciones. El cerebro —el sistema de búsqueda de información— sabe dónde están los puntos fuertes de su amo y trata de explotarlos y ampliarlos por medio de preguntas atinadas. La curiosidad infantil, que muchas veces parece insaciable, no es, pues, arbitraria y sin propósito, sino que está dirigida por las dotes personales. A un niño le interesa, en la mayoría de los casos, aquello que mejor conoce y preguntará con insistencia por el tema.

Ahí reside la tarea más importante de la enseñanza, pero también les corresponde a los padres descubrir qué es lo que mejor dominan sus hijos, lo que despierta su curiosidad y lo que les gusta. Desde la neurodidáctica, una clase ideal adecua el contenido de las materias a las competencias individuales. Sólo los pedagogos que conocen las capacidades de sus alumnos, pueden alimentar el cerebro que aprende con lo que anhela.

El aparejo tiene prioridad

Esto no quiere decir que a los alumnos se les haya de enseñar sólo las materias favoritas y esconder el resto debajo de la alfombra. La pedagogía de la competencia no pretende acabar con la cultura básica, sino fomentar el ansia de saber de los escolares por sus preferencias. Por supuesto que todos los alumnos han de saber leer y escribir al final del ciclo inicial, y un bachiller ha de haber oído hablar de la guerra de los Treinta Años. La cuestión es otra: si se han de aprender necesariamente determinados contenidos en un momento fijo e inamovible para que se cumpla el plan de estudios y se alcance el objetivo de la clase. Los profesores no habrían de imponer continuamente prioridades al cerebro, como, por ejemplo, “cierto que tú quieres saber cómo funciona un aparejo de poleas fijas y móviles, pero el plan de estudios establece que tú ahora debes interpretar poesía expresionista”. Cuando pasa esto se atrofian los intereses y talentos innatos. Y las otras áreas, que habrían de verse reforzadas con esta medida, se beneficiarían poco de ella; en este caso, tanto los escasos talentos como la poca motivación frenan el éxito escolar.

Aprender significa seguir caminos propios de estudiar y explorar algo. Sólo se consigue tal cometido, si el corsé del plan escolar no se aprieta excesivamente y los profesores pueden animar y juzgar individualmente a sus alumnos. La escuela ha de fomentar las ganas de aprender. Estas se muestran, en general, en el deseo de saber algo y dominar, al menos, algunas áreas.

Quien confía en sus propias capacidades puede también superar mejor un u otro déficit. Según el pedagogo suizo Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827), el aprendizaje ideal se desarrolla “con cabeza, corazón y manos”. Los resultados de los estudios en neurociencias dan la razón a los pedagogos reformistas. Hoy sabemos que el cerebro conjuga los tres aspectos (pensar, sentir y actuar) en un todo. A los niños, en guarderías y escuelas, hay que transmitirles los conocimientos necesarios de forma que se adecuen a la manera de trabajar del cerebro. Pero esto sólo se logra cuando profesores y educadores conocen el desarrollo neurológico de los procesos de aprendizaje. La investigación cerebral y las ciencias educativas deben, pues, trabajar en estrecha colaboración. Confiamos en que con la neurodidáctica hayamos dado un primer paso en este campo.

Curiosidad, interés, gozo y motivación son los presupuestos para aprender algo. Han de fundar, fomentar y reforzar nuestro sistema educativo (y por cierto, no empezando en la guardería, sino ya antes). Fijándonos en el funcionamiento del cerebro, constatamos que todo ser humano podría aprender desde el nacimiento hasta el final de su vida. Por tanto, la neurodidáctica implica no sólo desarrollar métodos de aprendizaje que tienen en cuenta la neurobiología del cerebro infantil, sino también creer que una cualidad fundamental del ser humano es la disposición a aprender. “Disco, ergo sum” (aprendo, luego existo). La catástrofe educativa habría de superarse bajo este lema.

GERHARD FRIEDRICH y GERHARD PREISS investigan en la reforma de la pedagogía. Preiss enseña, además, didáctica de la matemática en la Escuela Superior de Pedagogía de Freiburg.

Bibliografía complementaria

DIE PRAKTIKABILITÄT DER NEURODIDAKTIK. EIN ANALYSE- UND BEWERTUNGSTRUMENT FÜR DIE FACHDIDAKTIK. G. Friedrich. Peter Lang; Frankfurt del Main, 1995.

DAS GEHIRN IN AKTION. A. R. Lurija. Rowohlt; Reinbek, 1996.

NEURODIDAKTIK. THEORETISCHE UND PRAKTISCHE BEITRÄGE. Dirigido por G. Preiss. Centaurus; Herbolzheim, 1998.

LEHRBUCH ALLGEMEINE DIDAKTIK. W. H. Peterssen (séxta edición). Oldenbourg; Munich, 2001.

ENTREVISTA

¿Podemos conocer el mundo exterior?

¿Cómo se originan los conocimientos? De esta pregunta se ocupan cada vez más, junto a los filósofos, también los neurólogos.

Humberto Maturana, biólogo y teórico de sistemas, está convencido de que se puede abordar el tema con precisión científica. Propugna una “epistemología experimental”.

Mente y cerebro se ha interesado por ella

Bernhard Pörksen

Myc: Profesor Maturana, ¿qué es conocer?

Humberto Maturana: Se suele pensar que conocer es una forma de captar y reproducir la realidad. Pero yo concibo el conocer como la observación de un comportamiento adecuado.

Myc: ¿Qué quiere decir?

Maturana: Nuestro sistema nervioso está cerrado en sí mismo. Por tanto, en principio no puede reflejar el mundo exterior. Debemos, pues, despedirnos del modelo equivocado de la elaboración de información; modelo que estaba muy extendido incluso entre los biólogos: aceptábamos que el sistema nervioso de un organismo elabora una información procedente del exterior para, así, reaccionar con su propia conducta. Por ejemplo, alguien ve un mosquito y lo persigue a golpes.

Myc: ¿Y en qué falla ese modelo?

Maturana: Sencillamente, en que nuestro sistema nervioso no funciona de ese

modo. Si la luz de un objeto se refleja en el ojo, la activación que se produce en él corresponde a la estructura de la retina, no a la naturaleza del objeto externo.

Y lo mismo sucede con los otros sentidos: el mundo exterior se limita a desencadenar en nuestro sistema nervioso unos cambios que están condicionados y determinados por su estructura. Por consiguiente, el mundo no tiene, en principio, ninguna posibilidad de comunicársenos en su configuración propia, “verdadera”. El sistema nervioso no es una especie de mecanismo de reproducción, sino una red con un funcionamiento propio e independiente.

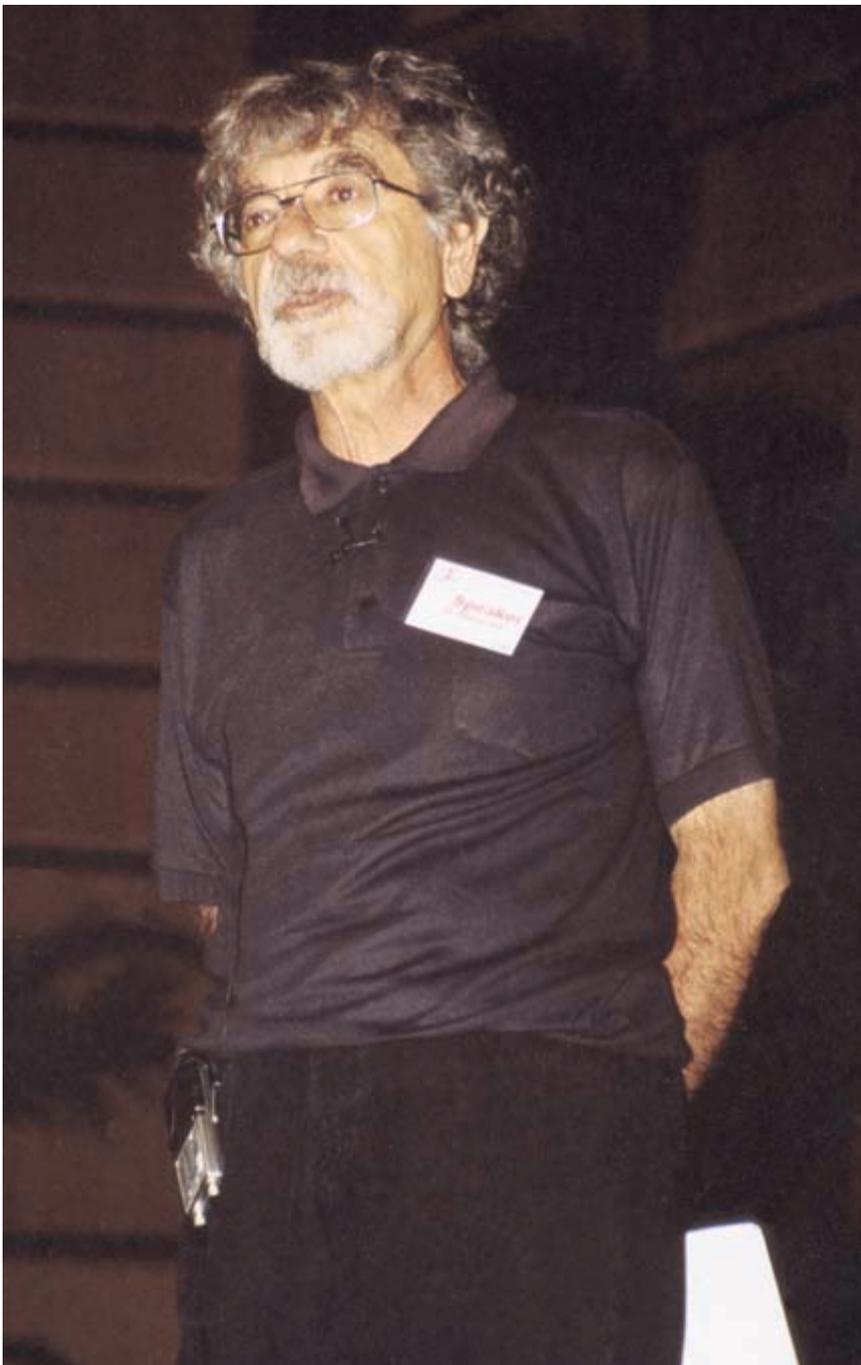
Myc: ¿Y qué es lo que hace exactamente?

Maturana: El sistema nervioso es una red de células excitables, en la que los patrones de activación neuronales entran en relaciones recíprocas constantemente cambiantes. El sistema nervioso no hace otra cosa que computar sus propios pasos de un estado a otro. No se da aquí un “dentro” ni un “fuera”, sino sólo un baile inacabable de internas relaciones recí-

procas de elementos que interactúan unos con otros. “Dentro” y “fuera” existen tan sólo para el observador, pero no para el sistema.

Myc: Esta interpretación de la actividad neuronal, ¿no lleva necesariamente a negar el mundo exterior? Es decir, no hay ningún “fuera”, sino sólo un “dentro” y, por cierto, cada uno tiene el suyo propio.

Maturana: Evidentemente, como el observador que soy, no niego la experiencia de un mundo exterior. No pongo en duda la experiencia de nuestra entrevista ni que usted, que está sentado enfrente de mí, existe. No obstante cuestiono vehementemente que, para dar sentido a las operaciones de nuestro sistema nervioso, se acuda al mundo exterior y a sus características, o que el mundo se pueda, de una u otra forma, derivar de ellas. El sistema nervioso es autónomo. Sólo cuentan los propios estados internos. Sólo un observador externo puede distinguir entre un dentro y un fuera o entre un input y un output; el sistema nervioso no puede hacer esta distinción.



HUMBERTO MATURANA investiga la base fisiológica de nuestra capacidad cognitiva.

Es decir, el suceso exterior, tal como lo perciben los observadores externos, ha sido del todo irrelevante para el desarrollo en el interior del avión. Con este ejemplo se aclaran los límites de nuestro conocimiento.

Myc: ¿Insinúa usted que todos nosotros pasamos por la vida como pilotos en una cabina de avión y que, por tanto, estamos encerrados en mundos separados? ¿Se asemeja el conocimiento a un vuelo a ciegas permanente?

Maturana: En cierto sentido, sí.

Myc: Pero, ¿cómo lo sabe? Pues, si no podemos identificar los límites del conocimiento, entonces no habría límites.

Maturana: Exacto. Sólo hay una condición que nos permite caer en la cuenta de nuestra ceguera: hemos de conocer las limitaciones de la percepción. Así pues, no debemos seguir estando ciegos a esta concepción. Pero en mi ejemplo no se trataba de esto. Para el piloto del vuelo a ciegas, que simplemente se sirve de sus instrumentos, no existen en absoluto límites del conocimiento. Sólo un observador externo puede hablar de un límite; alguien que tiene acceso a su propio mundo como también a lo que sucede en la cabina del piloto. Este observador ha de comparar las condiciones en el interior de la cabina del avión con lo que sucede en el mundo exterior y relacionarlos entre sí. O sea que, en cierto sentido, tiene un doble punto de vista o doble visión.

Myc: Pero este observador que puede describir los límites perceptivos del piloto encapsulado, ¿sería un realista en el sentido tradicional o no? Al fin y al cabo, conoce la realidad que está oculta al piloto, por ejemplo, la niebla en el exterior del avión.

Maturana: ¡Ojo! ¿Cómo sabe el observador que él mismo no está sentado en una especie de cabina en un mundo en el que existen pilotos de vuelo a ciegas, a los que se puede observar con una doble visión? Tan sólo si se puede excluir con absoluta seguridad esta posibilidad, podría hablar de un saber limitado del piloto. Sólo en ese caso podría, de verdad, fijar los límites del conocer. Sin embargo, yo le podría objetar que él se limita a comparar dos ámbitos distintos, pero no un mundo real y un mundo puramente construido.

Myc: ¿Podría ilustrar estas reflexiones con un ejemplo?

Maturana: Pongamos el ejemplo de un vuelo a ciegas. Imagínese un piloto que, sentado en su cabina, dirige un avión en medio de una oscuridad total. No tiene acceso inmediato al mundo exterior, no ve el suelo a sus pies ni los posibles obstáculos, por ejemplo, las montañas. Pero tampoco lo necesita, pues actúa por lo que le indican los instrumentos de a bordo. Si los datos cambian, el piloto hace un uso adecuado de sus instrumentos.

Myc: ¿Está diciendo que vuela con seguridad sin orientarse por el mundo exterior?

Maturana: Exacto. Si el piloto aterrizaba sano y salvo, empiezan a aparecer los amigos y colegas que, observadores independientes y externos, han seguido lo ocurrido. Le felicitan por el feliz aterrizaje y le hablan de la espesa niebla y peligrosa tormenta que tan brillantemente ha superado. Probablemente nuestro piloto responda sorprendido: “¿Qué tormenta? ¿Qué niebla? ¡Yo simplemente me he limitado a utilizar mis instrumentos!”

Regeneración del cerebro

Frente a la doctrina establecida, todo indica que los mamíferos adultos pueden formar nuevas células en su sistema nervioso central.

¿Sucede también en la corteza cerebral? ¿Qué función cumplen las nuevas células?

Olaf Schmidt

Los molinos de Dios muelen despacio, reza un adagio alemán. A veces, la ciencia opera también de acuerdo con ese principio. Hasta hace poco, admitíase que en el cerebro de un mamífero adulto no podían formarse células nuevas; y ello, a pesar de que hace ya cuarenta años aparecieron informes que contradecían tan arraigado dogma. Vino luego a aceptarse que, en dos regiones cerebrales al menos, se desarrollaban, a partir de células madre, nuevas neuronas en edades avanzadas de la vida; se trata del área olfatoria, que recibe y procesa la información de las células olfatorias, y del llamado hipocampo, que desempeña un importante papel en los procesos de aprendizaje y de memoria.

Sigue abierto el debate sobre la posibilidad de neurogénesis en otros luga-

res. En particular, si se da en la corteza cerebral. No es cuestión baladí: allí intervienen las funciones superiores, es decir, el habla, la planificación del futuro y la conciencia del yo.

En realidad, la formación de células nuevas en la corteza no entraña singularidad alguna. En 1999, Elizabeth Gould y su grupo, de la Universidad de Princeton, afirmaron haber hallado indicios de neurogénesis en la corteza cerebral de mamíferos adultos. Inyectaron intravenosamente en macacos adultos bromodesoxiuridina (BrdU), molécula que acostumbra emplearse para identificar células de reciente formación. Cuando una célula del organismo se divide y duplica su ADN, la BrdU se introduce en el material genético recién constituido. En consecuencia, después de una inyección de BrdU todas las células neoformadas portan esta sustancia en sus núcleos. Si observamos con el microscopio un corte tisular, podemos identificar las nuevas células; basta utilizar una sustancia fluorescente que se fija exclusivamente a las moléculas de BrdU.

Con ayuda de otros marcadores que se fijan específicamente en las neuronas, los investigadores sostienen haber descubierto neuronas entre las células neoformadas en la corteza de monos. Afirman que determinadas células precursoras, procedentes de otras regiones del cerebro, emigran a la corteza y allí maduran hasta convertirse en neuronas.

Este descubrimiento afecta a las bases biológicas de nuestras facultades superiores. Nada tiene de extraño que haya despertado interés y escepticismo, a partes iguales. David Kornak, del hospital clínico de la Universidad de Rochester,

y Pasko Rakic, de la Universidad de Yale, repitieron los experimentos de los neurólogos de Princeton. Trabajaron también con macacos y aplicaron los mismos métodos de marcado de ADN y de células; corroboraron la presencia de neuronas.

Se tambalea una imagen del mundo

Con esa ratificación, parecía, en principio, confirmarse los descubrimientos de Gould. Sin embargo, un estudio tridimensional meticuloso a través del microscopio confocal demostró que lo que semejaban neuronas neoformadas eran, en realidad, grupos celulares muy compactos, donde había células de diversos tipos.

El marcador celular había teñido las neuronas, pero la BrdU se encontraba sólo en las vecinas células de microglía. Estas últimas no son neuronas, sino otras células del sistema nervioso central que les ayudan en sus funciones. Se trata de células que, se sabía, se renuevan incluso en animales adultos.

Muchos neurólogos respiraron aliviados. No tenían que cuestionarse la doctrina recibida. Lo contrario sí planteaba problemas. Por regla general, después de sufrir heridas u otras alteraciones quedan en la corteza daños irreparables. Si crecieran allí nuevas neuronas cabría esperar que, al menos en parte, la lesión pudiera restañarse.

Pero la cuestión no está cerrada. Fred Gage, del Instituto Salk de La Jolla, apunta que, con los métodos actuales, no es posible explorar todos los lugares del cerebro donde puedan formarse neuronas. Espera que en el futuro se disponga de mejores procedimientos.

Casi como efecto colateral vuelve a centrarse la atención en las condiciones vitales de los animales de experimentación. Un entorno estimulante puede suponer un fuerte estímulo para la neurogénesis en el hipocampo. En cautividad, los monos suelen hallarse confinados en aburridas jaulas, que no incitan a nada.

MULTIPLICACION CELULAR EN EL CEREBRO DE LOS MONOS. Es evidente que un ambiente natural estimula a los macacos más que una aburrida jaula. La libertad pudiera instar la neoformación de células cerebrales.



BILCK/WINKEL

¿Neuronas como guardabarreras?

Cuando se descubren neuronas neoformadas en determinadas regiones del cerebro, la pregunta obligada concierne a la función desempeñada. Henriette van Praag y su grupo, del Instituto Salk en La Jolla, demostraron el año pasado que las nuevas neuronas están capacitadas para operar. Aplicaron un método de marcado que tiñe las neuronas en división hasta sus dendritas, permitiendo así explorar el crecimiento y desarrollo de las células. Descubrieron, en el hipocampo de ratones adultos, neuronas con una edad de cuatro semanas que podían recibir y procesar informaciones procedentes de otras neuronas. En todo caso, las neuronas neoformadas no alcanzaban la madurez hasta al cabo de varios meses.

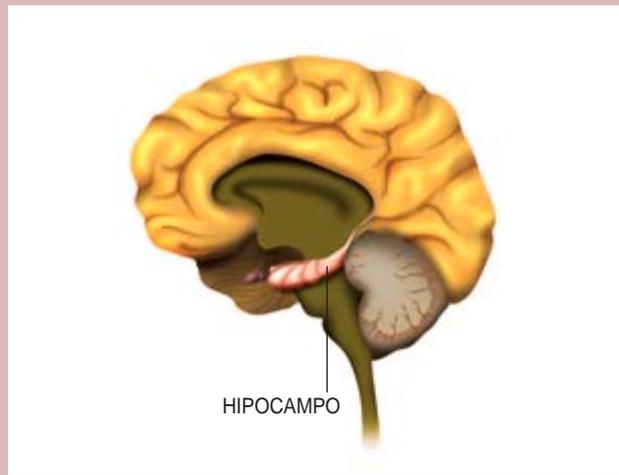
¿Qué función desempeña en el hipocampo este brote celular? Gerd Kempermann propone una explicación en la que compara el cerebro con un ordenador: el hipocampo se correspondería con el almacén de archivos, no con el disco duro; operaría, además, como puerta de entrada a la memoria. Las células neoformadas podrían comportarse a modo de guardabarreras que deciden qué informaciones recién adquiridas acceden al cerebro, para allí almacenarse durante largo tiempo.

Esta explicación es compatible con la observación repetidas veces comprobada de que la neoformación de células nerviosas tiene lugar, sobre todo, cuando el animal se mueve o recibe nuevos estímulos, es decir, en el amplio sentido de la palabra "aprende". De acuerdo con Kempermann las nuevas células del hipocampo suponen el necesario refuerzo para procesar nuevos estímulos y adecuarse a la nueva situación.

Sin embargo, Joe Tsien y sus colaboradores, de la Universidad de Princeton, asignan una función diferente a estas nuevas neuronas. En 2001 describieron un experimento que rechaza el carácter de archivo. Las nuevas células se requerirían para

borrar antiguos recuerdos y abrir el camino para nuevos contenidos.

En experimentos de conducta en ratones se ha observado que un defecto en la neurogénesis no representaba ningún problema de aprendizaje y que, a diferencia de los ratones normales, éstos podían recordar habilidades hacia tiempo aprendidas. Como dice David Kornak, uno de los que se oponen a las explicaciones de Gould, falta todavía una confirmación de esta hipótesis mediante nuevos estudios de aprendizaje. En definitiva, hay mucho por desbrozar en el campo de la neurogénesis.



EL HIPOCAMPO tiene una función central en la memoria y en el aprendizaje. En esta estructura cerebral se forman nuevas células nerviosas, incluso en el adulto.

Neurobiología del error

Existe la creencia común de que se aprende de los errores.

Sin embargo, los errores cometidos en alguna ocasión se almacenan en el cerebro e intervienen en momentos posteriores decisivos

Thomas F. Münte

¿Volviste otra vez a abrir el cajón que no era o saliste de casa demasiado pronto? ¿Te equivocaste de nuevo llamando por error Pablo a Pedro en el cóctel de hace unos días? Hay ciertas faltas que se repiten una y otra vez y siempre en el mismo punto. Nuestro cerebro dispone de mecanismos refinados para reconocer las faltas en cada fase de su formación y para evitarlas. Una serie de estudios —algunos de ellos en nuestro laboratorio— inducen a suponer que

estas instancias de control fracasan a menudo cuando nuestro cerebro toma al vuelo una solución posible pero desgraciadamente errónea.

A esa conclusión llegaron también los investigadores de la memoria Barbara Wilson, de Cambridge, y Alan D. Baddeley, de la Universidad de Bristol, cuando buscaban ayudas de aprendizaje para sus pacientes con lesiones cerebrales. Sus protegidos se mostraban incapaces de retener los nombres del personal de la unidad estacionaria del hospital. Wilson y Baddeley le enseñaban una y otra vez a un paciente la foto de la misma enfer-

mera y le daban su nombre durante todo el tiempo necesario hasta que el enfermo podía pronunciarlo. Alcanzado ese paso, añadían la foto de otro miembro del personal sanitario y repetían el ejercicio hasta que lograba identificar sin titubeos a las dos personas. De esta manera los pacientes sometidos a tales ejercicios aprendieron sucesivamente los nombres asociados a todos los rostros de la unidad hospitalaria.

De esas observaciones, Wilson y Baddeley deducen que el hombre tiende a cometer más errores cuando ha almacenado en la cabeza varias posibles res-

puestas. Consecuentes con su técnica de enseñanza, habían ofrecido a sus pacientes “condiciones de aprendizaje libres de errores”, es decir, sólo una posible solución por cada nueva foto. De esta forma los enfermos mentales podían retener los nombres sin apenas impedimentos.

Más tarde, ambos investigaron, con sujetos sanos, si los resultados eran mejores cuando en el aprendizaje no había posibles respuestas erróneas. Para ello, el experimento exigía completar el radical de una palabra. El director del experimento daba un comienzo de palabra, por ejemplo, “MOT...”. A continuación, el probando tenía que añadir letras para formar una palabra; por ejemplo, MOTOR. El truco consistía en que el director podía posteriormente declarar inexacta o exacta cada palabra de los probandos. Podía ser que el probando se enterara de que MOTOR era equivocado y que la respuesta correcta era MOTA. De esta manera se podían producir a discreción respuestas “erróneas”.

En la segunda parte del experimento al probando le daban palabras “verdaderas” y “falsas” de la primera parte de

la prueba. Su tarea consistía en identificar las verdaderas. En esta situación, los sujetos cometían siempre el mismo fallo: volvían a considerar como verdaderas palabras que anteriormente el director del experimento había rechazado como falsas.

¿Qué es lo correcto: motor o mota?

Wilson y Baddeley encontraron una explicación a este resultado: también las respuestas equivocadas quedan subliminalmente activadas en el cerebro. En la fase de descarga, el cerebro de los probandos se enfrenta a una larga serie de vocablos bien conocidos, pero no cuenta con la información de cuáles son correctos y cuáles son falsos. Aunque elijan repetidamente la palabra equivocada, no significa que su cerebro no se dé cuenta del peligro de un fallo. Muy por el contrario, se empeña con todas sus fuerzas en evitar el error.

Hemos observado quizás el mismo proceso cuando nosotros repetimos el experimento de Wilson y Baddeley con estudiantes de medicina. Mientras que

estas personas, indudablemente experimentadas en el aprendizaje, luchaban con la lista de palabras “falsas” y “verdaderas” les medimos, en determinados puntos de la caja craneana, los potenciales correlatos de acontecimientos: unas mínimas oscilaciones de tensión procedentes de la actividad cerebral en esas zonas a las que aplicamos los electrodos de medición.

En cuanto un probando daba con una palabra de una pareja falsa-verdadera como MOTOR y MOTA observábamos que el potencial cerebral en su prosencéfalo se tornaba negativo. Los neurobiólogos, que conocen bien este fenómeno, lo han designado como negatividad asociada a los errores. Lo descubrieron Michael Falkenstein y Bill Gehring, independientemente uno de otro, a comienzos de los noventa.

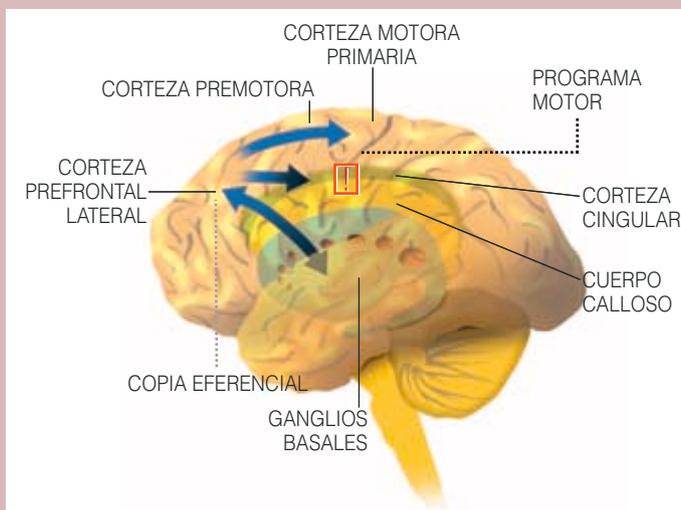
Gehring había descubierto el fenómeno con ayuda del paradigma Eriksen-Flanker. En este experimento aparece en la pantalla, cada vez, la letra H o la S. Según el caso, los probandos deben apretar una tecla con la mano derecha o la izquierda tan rápidamente como sea posi-

La central de corrección de faltas

Nuestras acciones suelen ser un compromiso entre la máxima exactitud y la mayor rapidez posible. Las actuaciones rápidas elevan las tasas de errores. A menudo notamos que hemos hecho algo mal y corregimos rápidamente el fallo. A la vez, según algunos experimentos, ralentizamos nuestras posteriores reacciones. De esta manera nuestro cerebro puede evitar más fácilmente fallos futuros.

Hay tres regiones de nuestro cerebro responsables del reconocimiento y de la corrección de los errores: la corteza lateral prefrontal (en el lóbulo frontal), la corteza anterior cingular y el lazo entre la corteza prefrontal y los ganglios basales. El prosencéfalo confecciona con cada “esperada respuesta correcta” la copia eferencial y la contrasta con la respuesta que se da en ese preciso momento. Cuando la copia de la esperada respuesta correcta se diferencia de la realmente emitida, el prosencéfalo dispara la alarma e introduce un programa motor como corrección de faltas que pasa por la corteza prefrontal y la corteza motora primaria. Las personas con lesiones en la corteza prefrontal no pueden por ello distinguir entre una acción correcta y una equivocada y raramente corrigen los errores. Además, todas sus respuestas acusan una negatividad asociada a errores. Entre otras cosas el prosencéfalo activa la corteza cingular —donde aparece la negatividad asociada a errores— y los ganglios basales.

Una situación similar encontramos en los animales. Algunos experimentos con aves canoras muestran que las estructu-



THOMAS BRAUN

ras del circuito basal, que se corresponden con los ganglios basales en el hombre, se integran en un bucle de corrección. Los pájaros ensordecidos cantan cada vez peor, pero si el circuito basal no está dañado, no se presenta este empeoramiento. Se supone que, cuando el animal no oye su propio canto, el cerebro pone en marcha una serie de intentos de corrección y la situación se empeora. Pero si el circuito basal está desconectado no tienen lugar los intentos de corrección y el canto no se altera.

ble. Para ponérselo más difícil, estos estímulos de letras van acompañados de otras cuatro haches o eses, pues todas las combinaciones de letras, excepto HHHHH y SSSSS provocan un evidente número de faltas en los sujetos de la prueba. Casualmente Gehring se dio cuenta de que el potencial eléctrico de la zona craneana por encima de la llamada corteza cingular (véase el recuadro “La central de corrección de faltas”) se hacía negativo siempre que los probandos se equivocaban de mano al accionar el interruptor.

Aunque los probandos eran conscientes de sus errores, nuestros experimentos con las parejas de palabras mostraron que esa consciencia no constituía un requisito indispensable de la negatividad de errores. Jonathan Cohen y Cameron Carter, psicólogos de la Universidad de Pittsburgh, en consonancia con esta explicación, abogan también por el “modelo de control del conflicto”. Según esta tesis la negatividad de errores surge siempre que haya en el cerebro y estén activadas dos posibles soluciones a una tarea.

En el caso del aprendizaje de palabras el concepto MOTA, por ejemplo, activa el correspondiente patrón de actividad neuronal. Pero simultáneamente hay un choque con el modelo —similar— para MOTOR. En tal situación suceden dos cosas: surge la negatividad de errores —que es por tanto un signo del conflicto, en ese momento, falso-verdadero— y al mismo tiempo se activa el prosencéfalo para reprimir la falsa información perturbadora. Este modelo del origen de los errores se apoya en experimentos con resonancia magnética nuclear funcional, que muestran la especial actividad del prosencéfalo cuando el cerebro tiene que ocuparse de informaciones que se interfieren entre sí.

Los fallos producen caídas de potencial

Todo empezó en una noche aburrida. Se cuenta que Bill Gehring, por aquel entonces doctorando en la Universidad de Illinois, volvió a revisar por capricho los datos recogidos en sus experimentos. Y le llamó la atención un patrón repetido: cada vez que sus probandos cometían un fallo, el potencial eléctrico en la parte superior de su prosencéfalo se hacía negativo en una millonésima de volt. Esta “negatividad asociada al error” ha venido a convertirse en un valioso instrumento para investigar las relaciones temporales entre la percepción de un fallo y su rectificación. En cuanto el probando da una respuesta errónea, el potencial decrece y llega al mínimo unos cincuenta a ochenta milisegun-

dos después de la respuesta equivocada. Numerosos experimentos apuntan a que la negatividad en la parte superior de la cresta sólo aparece cuando se reconoce un fallo conscientemente. Otras teorías afirman que este fenómeno señala sólo un conflicto entre dos soluciones contradictorias, con independencia de si uno es o no consciente de su error. Los datos del electroencefalograma y las investigaciones complementarias con la tomografía funcional de resonancia magnética han localizado entre tanto y con exactitud la negatividad asociada a errores en la parte anterior de la corteza cingular. En caso de errores o de riesgo de comisión de fallos se aviva en este punto la actividad cerebral.

Huésped de una fiesta despistado

Afortunadamente y gracias a los experimentos de aprendizaje de Wilson y Baddeley con pacientes cerebrales sabemos de una posibilidad muy simple de proteger de los problemas mencionados nuestro órgano del pensamiento y del aprendizaje: aprender alejando al cerebro de falsas soluciones. Al aprender una lengua extranjera los alumnos, por ejemplo, empujan largas listas de vocablos. Este método es, sin embargo, contraproducente desde el trasfondo de nuestros resultados, ya que al aprender la lista de palabras quedan en nuestra memoria innumerables huellas, que asocian cada palabra con otras muchas. Por lo que son muy probables las confusiones.

En su lugar tendría mucho más sentido darles a los alumnos varias frases modelo en las que cada vez apareciera un vocablo que debieran aprender. Y sólo cuando esa palabra ocupara el lugar correspondiente y sin faltas, se podría pasar al siguiente vocablo. Pero este procedimiento lamentablemente no salva al confuso invitado al cóctel que acaba de conocer a Pedro. Al fin y al cabo no se puede negar a trabar conocimiento con Pablo, ni siquiera con la excusa de que se “quiere mantener libre de errores”.

THOMAS MÜNTE es catedrático en el Instituto de Psicología de la Universidad Otto von Guericke, de Magdeburgo.

Androides inteligentes

Los androides inteligentes son aún mera fantasía, producto de libros y películas de ciencia-ficción. Sin embargo, la investigación de sistemas conectivos entre ordenador y cerebro realiza espectaculares avances: las primeras entidades híbridas, conjunción de biología y electrónica, son ya toda una realidad

Ulrich Kraft

¿Una rata de laboratorio con nombre? “Animat” lo tiene, pero es ésta la menos importante de sus particularidades. Nuestro cobaya no habita en una jaula, sino en un mundo generado por ordenador. Su cuerpo

es virtual, simulado por un software especial, con un cerebro orgánico que lo dirige. Dicho cerebro se compone de neuronas de rata, cultivadas en una placa de Petri y conectadas a una computadora. Steve Potter y su grupo, del centro de procesamiento de imágenes aplicado a la biología del Instituto de Tecnología de Ca-

lifornia en Pasadena, investigan hasta qué punto este híbrido puede aprender a desenvolverse en su mundo artificial. Para ello, las células nerviosas cultivadas deben mostrarse capaces de captar el entorno virtual y de recordar dichas percepciones (véase la figura 2), con procesos análogos a los de un cerebro auténtico.



1. CONEXION INALAMBRICA. El investigador Miguel Nicolelis con el mono Rhesus y el brazo robótico teledirigido.

Los investigadores se sirven de dispositivos de multielectrodos, a modo de interfaz entre biología y electrónica. Se trata de placas de Petri de 1,5 centímetros con microelectrodos integrados, sobre los que descansan las neuronas. Una computadora registra en sesenta puntos de contacto diferentes las señales eléctricas provenientes de la red de células nerviosas y procede a analizarlas. Cada canal transmite 2,3 megabytes de información por segundo, suficientes para llenar un disco compacto cada cinco minutos. El programa informático busca, en esta inmensa cantidad de datos, patrones de actividad repetitivos, a los que asignará posteriormente determinados comportamientos. El patrón número uno se asociará, por ejemplo, a un movimiento hacia la derecha, el dos a otro hacia la izquierda. En la pantalla del ordenador se observará cuán fielmente Animat realiza lo que le ordena su cerebro. En el momento en que aparezca el patrón de actividad número uno, el programa provocará que se dirija a la derecha; si aparece el dos, a la izquierda.

Placas de Petri pensantes

Con el fin de que las neuronas capten que son ellas las responsables de las accio-

nes realizadas, el ordenador las retroalimentará enviando en tiempo real una determinada señal a los electrodos de la placa de Petri "pensante". Además, se dispone de un modelo de sistema sensorial que proporciona informaciones adicionales sobre los movimientos de Animat. Potter confía en que su rata híbrida termine familiarizándose con su entorno, en la medida en que las informaciones que reciba sean adecuadas. Si por ejemplo Animat se tropieza con una pared de la jaula virtual, debe aprender de esta experiencia y detenerse a tiempo en la siguiente ocasión. Ello constituye una tarea sencilla para el cerebro humano, no así para la inteligencia artificial.

Los procesos neuronales internos asociados a dicho aprendizaje son totalmente desconocidos, lo que intriga sobremedida a Potter: "Dotando a un cultivo de células nerviosas de un cuerpo pretendemos estudiar los procesos de aprendizaje y memorización allí donde disponemos de libre acceso: en la placa de Petri". El investigador norteamericano ha detectado ya los primeros signos de adaptación intelectual: la red de neuronas reacciona a las entradas sensoriales con patrones cada vez más complejos, además de formar nuevas conexiones sinápticas. "Las neuronas crecen y se ramifican. Animat adquiere por lo tanto mayor inteligencia: la capacidad de procesar información depende básicamente del número de contactos entre células nerviosas", según Potter.

Ferdinando Mussa-Ivaldi, neurobiólogo de la facultad de medicina de la Universidad del Noroeste de Chicago, ha logrado demostrar ya la capacidad de aprendizaje de un organismo cibernético. No se sirvió para ello de cultivos de células nerviosas, sino del tronco encefálico completo de una lamprea joven, mediante el cual controla un robot industrial. Los sensores ópticos dispuestos en el autómatas generan unas señales eléctricas, que se almacenan por medio de microelectrodos en el tronco encefálico, en concreto en el sistema vestibular. Es esta área del cerebro de

las lampreas la responsable de la distinción espacial entre arriba y abajo, capacidad imprescindible para la orientación en el agua.

En el momento en que reciben la información de los sensores ópticos, las neuronas generan impulsos nerviosos que, según supone Mussa-Ivaldi, en los animales vivos se dirigirían hacia los músculos. En el "pez-robot" regulan el movimiento de las ruedas del autómatas. El resultado de esta inusual combinación entre cerebro orgánico y cuerpo sintético es un robot que se desplaza en reacción ante estímulos luminosos. Diversos experimentos realizados con este artefacto arrojaron interesantes resultados. En uno de ellos, los investigadores impedían el movimiento del robot de manera forzada, iluminando al mismo tiempo intensamente su flanco izquierdo. Posteriormente liberaron el autómatas disponiéndolo en el interior de un círculo de luz: el híbrido ignoraba, a partir de ese momento, toda señal luminosa proveniente de su lado izquierdo; se había adaptado y cambiado su conducta de forma autónoma.

En otro ensayo se tapó uno de los sensores de la máquina. En un principio, el cerebro se mostró confuso. Sin embargo, rápidamente aprendió a compensar esta pérdida de visión. Precisamente en esta capacidad de adaptación reside, según Mussa-Ivaldi, la principal ventaja de las "neurocomputadoras" respecto a los ordenadores tradicionales. Pero el objetivo principal del científico no consiste en desarrollar un robot con aptitud para el aprendizaje. "Pretendemos hallar un instrumento que permita estudiar la organización del cerebro", aclara. "Sólo entonces podremos comprender cómo establecer comunicaciones eficientes entre sistemas nerviosos e informáticos."

Miguel Nicolelis y su grupo, de la Universidad de Duke, centran su interés investigador en el control neuronal de miembros artificiales. Recientemente lograron accionar un brazo robótico partiendo de las corrientes cerebrales de un mono Rhesus (el llamado mirikiná, véase la figura 1). "Un momento histórico, el comienzo de algo totalmente nuevo", opina Mandayam Srinivasan, del laboratorio del tacto del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), quien participó en los ensayos. Previamente se debieron superar ciertos obstáculos. En primer lugar, los científicos necesitaban llegar a comprender el significado de cada señal neuronal. Para ello implantaron en el simio 96 diminutos electrodos en la corteza cerebral, la mayoría en la corteza motora.

El ordenador registraba los impulsos eléctricos generados por el cerebro durante la realización de diversos movimientos y los analizaba, buscando patrones de actividad neuronal asociados a dichas acciones. Tras un período de aprendizaje, el programa era capaz de predecir los movimientos del mono basándose en la información recibida de las células nerviosas. Posteriormente se adaptó el software para convertir esta información en señales que controlasen el brazo robótico en tiempo real, es decir, sin demora alguna.

Manipulación vía Internet

Como resultado de los avances de la investigación, el brazo del robot y el del mono se desplazaban en perfecta sincronía. La conexión funcionó incluso a través de Internet (véase la figura 3). “Fue verdaderamente sorprendente comprobar cómo el brazo del robot se movía en mi laboratorio, sabiendo que lo guia-

ban las señales generadas por el cerebro de un mono que se hallaba en la Universidad de Duke”, explica Srinivasan, que se hallaba a casi mil kilómetros de distancia, en el MIT.

“La idea de controlar miembros artificiales mediante el pensamiento pertenecía al reino de la ciencia-ficción”, afirma Ferdinando Mussa-Ivaldi, subrayando la importancia del experimento. “Ahora este objetivo se presume mucho más alcanzable.” Resulta evidente la utilidad de una prótesis guiada por dicho principio. Sin embargo, semejante prótesis sólo funcionaría si el cerebro la aceptase como parte de su cuerpo. Para ello le debe llegar en todo momento información adecuada e inteligible de las actividades del miembro artificial. Nicolelis y su equipo centran sus esfuerzos en desarrollar esta retroalimentación, ideando medios para proporcionar información sensorial al cerebro del mono-cobaya sobre las acciones realizadas por el bra-

zo robótico. El primero es de tipo táctil —la piel del animal se estimula según un determinado patrón—; el segundo, de tipo visual: el mono puede visualizar la posición del brazo representada como un punto en la pantalla de un ordenador.

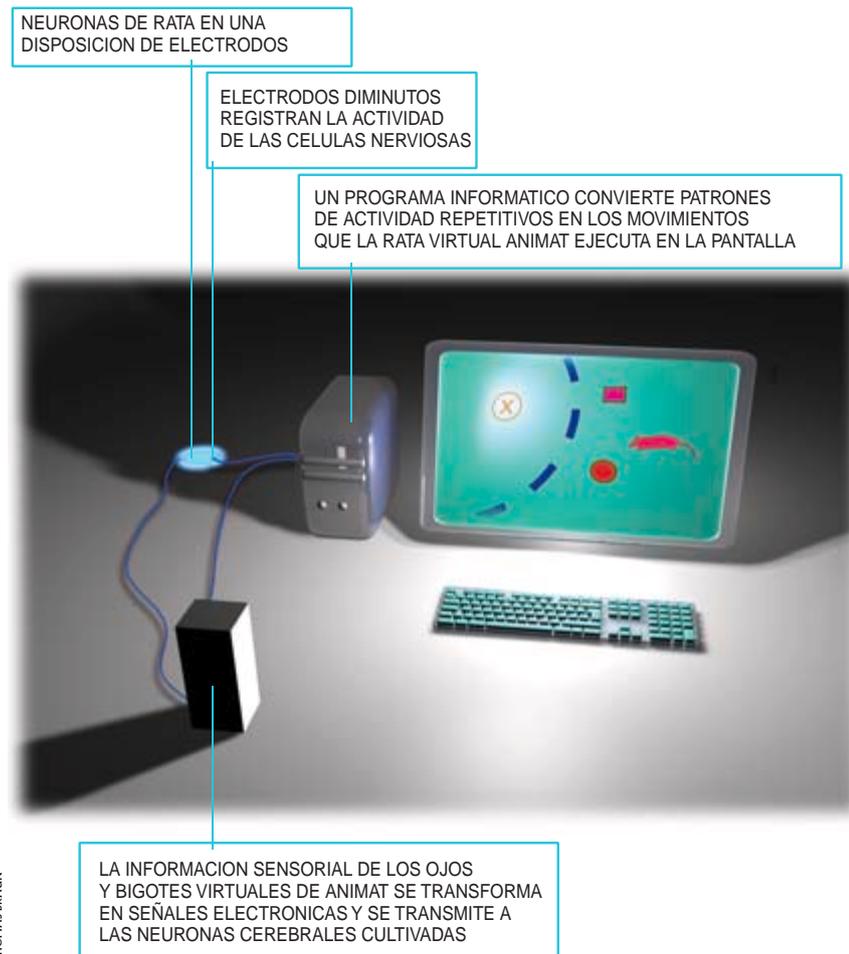
Para que el sistema sea eficiente, resulta imprescindible que el cerebro descifre el significado de las señales recibidas de la retroalimentación artificial. Ante el mismo problema se hallan las personas sordas sometidas a un implante coclear, un transductor compuesto de varios elementos que transforma las señales acústicas en impulsos eléctricos que estimulan el nervio auditivo. Sólo después de que su centro auditivo se acostumbra a la nueva situación y asigna a cada señal eléctrica el tono adecuado, comienzan a percibir sonidos.

“Nos proponemos investigar cómo se adapta el cerebro a una retroalimentación visual o táctil”, explica Nicolelis, que se muestra convencido de la factibilidad de dicha aclimatación. “Cuando las personas o los animales aprendan a controlar miembros auxiliares dotados de bucles de retroalimentación, sus cerebros generarán las capacidades neuronales necesarias para almacenar la información relativa al objeto.” Ello significa que, por ejemplo, una prótesis de brazo estaría integrada en la corteza motora y se movería exactamente como un brazo de carne y hueso.

Los científicos realizan su labor principalmente con animales. Pero si se lograra desarrollar un interfaz eficaz entre cerebro y electrónica, los androides inteligentes, híbridos de persona y máquina, dejarían de ser protagonistas de obras cinematográficas de ciencia-ficción para acercarse a la realidad cotidiana, con las consiguientes implicaciones de tipo ético. En el caso de que el cerebro humano estuviese en disposición de controlar ingenios externos, también resultaría factible, en sentido inverso, influir en las funciones cerebrales mediante programas informáticos. Los actos del hombre, sus pensamientos, sus recuerdos, serían fácilmente manipulables.

Un equipo de científicos de la Universidad estatal de Nueva York ha demostrado recientemente la posibilidad de ejercer el control mental sobre otros seres, aun de forma primitiva. Bajo la dirección de Sanjiv Talwar consiguieron

EL CEREBRO PIENSA, EL ORDENADOR DIRIGE



THOMAS BRALIN

2. INTERACCION ENTRE BIOLOGIA Y ELECTRONICA. Neuronas de un cerebro de rata dirigen un cuerpo virtual.

DISPOSITIVO DE CONTROL



controlar ratas con ayuda de microelectrodos. Implantaron dos en la corteza somatosensorial del cerebro de los animales, concretamente cada uno en la región en que se procesan las señales provenientes de los bigotes derecho e izquierdo respectivamente. Los impulsos eléctricos recibidos en estas áreas los percibe la “rata-robot” como un contacto y cambia en consecuencia su dirección de movimiento.

Un tercer electrodo localizado en el fascículo prosencefálico medial se

emplea para estimular las áreas del placer (el también llamado centro de recompensa) del cerebro, zona decisiva en los humanos para la aparición de la adicción a las drogas. Cuando la rata procede en la dirección deseada tras recibir una señal de uno de los dos primeros electrodos, se ve recompensada con un sentimiento intenso de euforia mediante un estímulo en el prosencéfalo medial. De forma similar a un drogadicto, el animal ansía revivir esta sensación. Con este dispositivo los científicos dirigieron a la rata

3. COMO POR ARTE DE MAGIA. Incluso a cientos de kilómetros de distancia el cerebro del mono-cobaya controla el brazo robótico.

sin problemas a través de madrigueras, por pasos elevados angostos e incluso por superficies abiertas iluminadas, rehuidas usualmente por los roedores.

“Se trata de una de las demostraciones más impresionantes a la que jamás haya asistido”, afirma Nicoletis. “Las ratas se desplazaban por terrenos impracticables incluso para robots muy costosos”. El control se efectuaba por radiofrecuencia, a una distancia máxima de 500 metros. La unidad de control, transportada a modo de mochila en el lomo de las ratas, transformaba las señales de radio recibidas en impulsos eléctricos que se transmitían al cerebro.

Los servicios de inteligencia militar observan tales avances con gran interés: un “equipo” de ratas teledirigidas les resultaría de gran ayuda en la búsqueda de víctimas de catástrofes o en la detección de minas antipersonales.

Constituye toda una incógnita la evolución futura de este hallazgo. Talwar y su equipo parten de la suposición de que, con la conexión de regiones cerebrales adicionales, se podrían controlar patrones de conducta más complejos. ¿Nos hallaríamos ante el control mental del ser humano? Ante tamaño dilema ético, Talwar experimenta sentimientos encontrados. “Yo personalmente opino que controlar la mente de seres vivos puede resultar extraño”, reconoce. “Pero esta sensación quizá se deba a que todavía no nos hemos acostumbrado a tal idea.”

El homúnculo se moderniza

Creíase, hasta hace poco, que la organización de nuestra corteza cerebral se correspondía con la estructura del organismo. Pero experimentos recientes muestran que la corteza detecta fielmente el espacio en torno a nuestro cuerpo

Hubertus Breuer

Theodore Rasmussen y Wilder Penfield no salían de su asombro ante determinadas operaciones realizadas a cráneo abierto, a mediados

de los años cuarenta, en pacientes de epilepsia. Cada vez que estimulaban eléctricamente pequeñas áreas de la parte posterior del prosencéfalo se contraían ciertos músculos de las comisuras de la boca, las manos, los pies, los ojos o la

lengua, independientemente del punto exacto de la estimulación.

Más tarde, los dos neurocirujanos registraron en un mapa del cerebro las regiones encargadas de controlar los correspondientes grupos de músculos. La imagen

resultante parecía un auténtico esperpento: había extensas áreas cerebrales responsables de los movimientos de las manos, los dedos o la boca, mientras que los músculos de los pies, las piernas, el tronco o la garganta eran dirigidos por regiones neuronales mínimas. Rasmussen y Penfield denominaron a su creación “homúnculo motor”. Así entraron en la historia de la ciencia.

La experimentación de laboratorio realizada en los últimos años ha venido cuestionando que la figura del homúnculo sirva de cartografía de las funciones. Se le reputa un esquema demasiado tosco y simplista. No está tan clara la organización “somatotópica” de la corteza, es decir, la distribución de las neuronas conforme a las regiones corporales relacionadas con ellas. Aunque se pueden identificar, por ejemplo, las regiones de las piernas, los brazos y la cara, los anatomistas apenas han podido precisar somatotopía dentro de esas regiones. Pero los psicólogos también observaron que algunas neuronas son responsables al mismo tiempo de diferentes grupos musculares y no sólo de uno, como exigiría el esquema del homúnculo. Y a la inversa: los mismos músculos dependen en ocasiones de varias zonas cerebrales.

No hace mucho, Michael Graziano, neuropsicólogo de la Universidad de Princeton, publicó en *Neuron* un estudio que pretendía conciliar dentro de lo posible todos los dispares resultados de la investigación. El homúnculo de nuestra corteza cerebral presentará otro aspecto en la próxima generación de manuales de neurología, siempre y cuando se someta a un trabajo de renovación básico.

Marionetas neuronales

Los resultados de Graziano dan a entender que las neuronas de la corteza no controlan músculos individuales. Los grupos neuronales allí ubicados dirigen procesos motores complejos; por ejemplo, asir un vaso de agua. El equipo de Graziano sometió a dos monos a débiles estímulos eléctricos, aplicados a grupos de neuronas de la corteza motora. Esta región se ubica lateralmente en el prosencéfalo junto a la cisura central. Los monos reaccionaron con movimientos fluidos y prácticos. Un determinado estímulo eléctrico provocó que uno de ellos cerrase el puño, se llevase la mano cerca de la cara y abriese a la boca. Era indiferente el punto de partida del brazo antes de empezar el movimiento. Si el experimentador excitaba las

células vecinas, la mano se trasladaba a una posición similar, algo desplazada; por ejemplo, más cerca de la nariz o a un lado de la oreja. De forma idéntica podía también manipularse con estímulos la postura de la boca.

¿Por qué no habían Rasmussen y Penfield descubierto estos programas motores? Por una razón muy sencilla, a juicio de Graziano: sus predecesores estimulaban la neurona con impulsos eléctricos de un máximo de veintavo de segundo de duración; los músculos se convulsionaban, sobrecogidos. “Ese lapso de tiempo es demasiado corto para provocar la actividad neuronal que suele acompañar a una acción dirigida”, asegura Graziano. Por lo mismo, él estimulaba las correspondientes regiones cerebrales durante medio segundo, el período de tiempo en el que actúa la actividad eléctrica en un movimiento natural. Conseguía así provocar procesos de movimiento auténticos.

En sus experimentos Graziano investigaba, por un lado, las neuronas de la corteza motora, responsables exclusivos de los movimientos, y, por otro, las neuronas bimodales. Estas células reaccionan también ante roces e impresiones ópticas de una zona cercana al cuerpo. Cuando el investigador sometía las neuronas bimodales a impulsos eléctricos, los monos adoptaban una postura defensiva o se apartaban bruscamente, con la particularidad de que era siempre un determinado grupo de neuronas el que provocaba una de estas reacciones. Para Graziano, “estas células posiblemente detectan peligros en zonas muy cercanas y de la forma más natural provocan la correspondiente actitud corporal”. Desde el punto de vista de la historia de la evolución, se trata de una estrategia práctica, puesto que permite a los animales reaccionar automáticamente ante objetos que se les aproximan demasiado.

En la zona de la corteza cerebral responsable del movimiento Graziano investigó 324 puntos, tanto de grupos neuronales puramente motores como bimodales. En el 86 por ciento de los casos la estimulación provocaba una posición corporal o un movimiento muy determinados. Con esa base creó Graziano su nueva topografía, precisa, de la corteza motora. Pero su principal éxito no se limitó al mapa cerebral con las nuevas fronteras y regiones. Rasmussen y Penfield relacionaban cada punto de la corteza cerebral con un músculo determinado; para Graziano el principio de ordenación consiste en que los puntos de la corteza representan puntos del entorno espacial del animal. Por tanto,

las neuronas que ocupan posiciones adyacentes en la corteza cerebral provocan movimientos que se ubican, en correspondencia, colateralmente en el espacio. Por ejemplo, las neuronas responsables de movimientos de aprehender que se producen en la zona inferior del cuerpo, residen, en la corteza cerebral, cerca de la cresta coronal. Por el contrario, las neuronas correspondientes a los puntos de movimiento a la altura de la cabeza se encuentran en la parte inferior; casi, pues, en una disposición inversa.

Lo curioso es que la nueva cartografía refleja en ocasiones la antigua distribución. Tomemos el ejemplo de las neuronas que en el mapa antiguo instaban la contracción de las extremidades inferiores. En la versión nueva también dirigen ahora movimientos en los que estas musculaturas participan de manera decisiva. El mismo Graziano descubrió una zona que dirigía los movimientos rápidos de las manos delante del tórax; esta área se asociaba hasta ahora con la musculatura de las manos. Ya Rasmussen y Penfield habían localizado un área cortical que guiaba el movimiento de la mano hacia la boca y el de los dedos en el gesto de asir algo.

Los resultados de Graziano se ajustan a una nueva imagen de la organización del cerebro que va tomando cuerpo. A tenor de la misma, la estructura de nuestro órgano mental dispone en general de una representación del espacio en torno a nuestro cuerpo. Otra pista en este aspecto procede de nuestra percepción sensorial. También en la corteza visual las zonas adjuntas elaboran la percepción de objetos que están, por una parte, en el centro y, por otra, en la periferia del campo de visión. Curiosamente estas regiones cerebrales que perciben los estímulos desde el centro del campo visual son de un tamaño superior al normal. Consideradas en su conjunto estas zonas, análogamente al mapa de los movimientos, resultan como un mapa de nuestro horizonte visual. “Aquí se establece un nuevo paradigma”, comenta Larry Abbot, de la Universidad Brandeis en Massachusetts. Ha llegado la hora del cambio: a la luz de los resultados experimentales, el homúnculo comenzaba a resultar un esquema demasiado simple.

HUBERTUS BREUER es doctor en filosofía.

La visión materialista de la neuroética

Se abre paso en la investigación neurológica el mayor reto científico de nuestra sociedad, que concierne a la base de la dignidad humana y los límites de su manipulación. *Mente y cerebro* dialoga con Wolf Singer, neurólogo, y Thomas Metzinger, filósofo, ambos de adscripción materialista

Diálogo coordinado
por Carsten Könneker

Myc: Profesor Metzinger, usted reclama que la opinión pública se prepare para enfrentarse a los descubrimientos de la investigación neurológica moderna que se avecinan. ¿A cuáles se refiere?

Metzinger: La investigación neurológica transforma de forma radical nuestra imagen del hombre y consecuentemente el fundamento de nuestra cultura, la base de nuestras decisiones éticas y políticas.

Myc: Así dicho, suena inquietante.

Metzinger: No sería adecuado en este momento adoptar una postura alarmista. Pero el desarrollo es arriesgado porque nos afecta a todos, no sólo a los neurólogos y a los filósofos. Se trata de un cambio profundo de nuestra propia imagen, y esto a algunos de nosotros nos resultará evidentemente doloroso.

Myc: ¿Doloroso?

Metzinger: Piense, por ejemplo, en las ideas de mortalidad o en la suposición de conciencia sin base neuronal. Si se admite el carácter implausible de la idea de supervivencia del yo consciente después de la muerte, difícilmente podrán soportar la presión emocional las personas aferradas a una visión tradicional del mundo.

Myc: Pero la negación de la trascendencia no constituye ninguna novedad en la historia de las ideas. Es una polémica secular.

Metzinger: Evidentemente. Desde hace siglos unos afirman y otros niegan la mortalidad. Desde el campo filosófico, la finitud es cuestión harto añeja. Pero ahora se va estrechando el espacio de lo que el ciudadano medio puede creer sin que los demás se le mofen. En mi opinión, quien esté abierto al progreso científico no puede seguir creyendo en una

supervivencia personal después de la muerte.

Myc: Si, en consonancia con su postura, se proscribiera la fe cristiana en una vida trascendente, ¿qué repercusión comportaría para la convivencia social?

Metzinger: La muerte personal es para nosotros el mayor accidente asumible por el hombre. La evolución ha marcado a fuego en nuestros mecanismos sentimentales la voluntad de supervivencia como una suerte de imperativo biológico. El reconocimiento de los límites de la existencia nos concierne en cuanto seres biológicos, pero nos provoca un dolor emocional: digamos que es el precio a pagar como seres pensantes. Sin duda alguna eso afecta con más dureza a los adeptos a determinadas tradiciones culturales como, por ejemplo, la cristiana.

Myc: Profesor Singer, si nos situamos en la óptica de Metzinger, ¿es consciente el neurobiólogo, en sus investigaciones cerebrales, de estar llenando un barril de pólvora que podría explotar en un futuro no muy lejano? Por lo que se refiere, evidentemente, a la historia de las mentalidades.

Singer: De entrada coincidí con Metzinger en que todo lo que atribuimos a lo espiritual en nuestros modelos dualistas de cuerpo y alma está condicionado por la biología. Coincidí también que se trata de una herida dolorosa para quienes se adhieren a una visión tradicional del sujeto, pero sin excluir a los partidarios del enfoque opuesto. Dicho de otro modo, para mí, en cuanto neurobiólogo, esto representa un problema constante: yo vivo en cierta manera como una persona disociada.

Myc: ¿Disociada?

Singer: En mi actividad diaria, considero el cerebro como un objeto del mundo material y lo estudio desde la perspec-

tiva de una tercera persona, como cualquier otro tema científico. Pero en este caso especial experimento al mismo tiempo algo sobre mí mismo como ser espiritual; los conocimientos empíricos chocan con mi autoexperiencia subjetiva. Daré un ejemplo: pensamos que somos libres en nuestra actuación, pero no existe tal voluntad libre desde el punto de vista neurobiológico. De un modo más general, hay base empírica de la conciencia, del constructo que llamamos alma. Sin embargo, seguimos aferrados a nuestras vivencias personales desde la perspectiva subjetiva del yo.

Myc: Eso suena a un pesado lastre. De alguna manera usted vive al mismo tiempo en dos mundos, cuyas formas de descripción se excluyen mutuamente y que, a pesar de todo, tiene que armonizar.

Singer: Eso es exactamente lo que ocurre. ¡Sólo tiene que pensar en el problema de la educación! Si yo responsabilizo a mis hijos por la transgresión de una norma, asumo de manera refleja la perspectiva tradicional; es decir yo admito que mis hijos eran libres al actuar; si así no fuera, no podría castigarles. Esa autocontradicción, ese conflicto entre dos mundos de experiencia diferentes es el que nosotros hemos de soportar.

Myc: ¿Cómo sobrellevan ese conflicto?

Metzinger: Pese a todas las reglas de la mediación yo me pregunto honradamente en mis horas malas si no habrá teorías sobre nosotros mismos que nadie pueda soportar: conocimientos que no podemos integrar en nuestro modelo y nuestra imagen interior de nosotros mismos sin ponernos enfermos o por lo menos fingir lo que no somos.

Singer: Yo creo que se puede marchar firmemente por el camino descrito si manejamos nuestros conocimientos de forma responsable. Por eso es muy importante explicárselo a la opinión pública.

1. ¿INVESTIGACION CEREBRAL CON CONSECUENCIAS? En diálogo: Wolf Singer (a la izquierda), Thomas Metzinger (a la derecha) y Carsten Könnecker.

Myc: ¿Y qué espera usted de eso? ¿Amortiguar una reacción de pánico?

Singer: No. Se trata de formular nuevas reglas éticas, algo en lo que la sociedad tiene que ayudar a los neurobiólogos. Es inadmisibles que los expertos fijen el marco ético de sus actividades, pues éste ha de ser definido siempre por el conjunto de los afectados, lo que sólo se logra cuando el saber está al alcance de todos.

Myc: ¿Y usted piensa que puede transmitir adecuadamente sus conocimientos al ciudadano medio?

Singer: Ese es el reto. Las tareas de explicación de las investigaciones cerebrales son sin duda alguna mucho más problemáticas de lo que lo fueron en su tiempo las de la física cuántica. El problema de entonces consistía en explicar plásticamente algo inimaginable, pero nosotros tenemos que hacer llegar al público algo así como un ataque frontal a nuestra autocomprensión y a nuestra dignidad humana.

Myc: ¿Puede acaso la investigación neurológica degradar nuestro ser humano a algo completamente insignificante?

Singer: En absoluto. ¡Todo lo contrario! El ser humano es algo maravilloso. Nosotros no rebajamos ni un ápice la dignidad del hombre como ser consciente.

Metzinger: Una posible e incluso muy actual definición de la dignidad humana sería: poder vivir con el dilema antes descrito sin desmoronarnos y manteniendo la humanidad y la compasión frente a los demás.

Myc: Pero este concepto es un término jurídico, del estilo de las grandes declaraciones como “la dignidad del hombre es inviolable”. ¿Se tendrán que regir la legislación y la jurisprudencia por los avances de la investigación neurológica?

Singer: Tendremos que replantearnos ante todo algunos aspectos de nuestras leyes penales. Sería conveniente que quienes hoy día se cuestionan la culpabilidad, recurrieran a los últimos avances de la investigación neurológica.

Myc: ¿Valoran actualmente los juristas los resultados de sus investigaciones?

Singer: Me sorprende su escasa repercusión en los ámbitos jurídicos. Los



RALF BARTHELMIS

magistrados tratan el tema de la culpabilidad de manera totalmente pragmática.

Myc: La historia nos enseña que las teorías científico-naturales, una vez que se generalizan, se pueden adular o incluso aplicar aviesamente. ¡Piénsese en el darwinismo social y en la eugenesia racial de la época nacionalsocialista! ¿Estamos también ante un posible abuso político-ideológico de los avances de la neurobiología moderna? Al final, ¿se podría construir con estos elementos una nueva doctrina totalitaria?

Singer: La neurobiología no se presta a respaldar una teoría del caudillaje. El “líder” se queda en un ser finito, de carne y hueso, como cualquier otro mortal.

Myc: ¿Y qué hay del renacimiento o del fortalecimiento de una ideología que marque las distancias respecto a los avances de la neurobiología? ¿No sería pensable que crecieran las corrientes fundamentalistas en los países islámicos con demagogos religiosos apuntando a nuestro entorno cultural y enarbolando consignas como: “¿No veis que el mundo occidental nos quiere hacer creer que nuestra fe es infundada, que no hay vida más allá de la muerte?”

Metzinger: Afortunadamente todavía no aparecen síntomas de ese tipo de fenómeno. Pero no se puede ignorar que se podría abrir más que nunca la distancia entre ideas divergentes sobre el hombre no sólo en nuestro ámbito sino también en el marco global de relaciones entre el primer y el tercer mundo. Nuestra propia sociedad secularizada reaccionará seguramente de otro modo, probable-

mente con una falta de solidaridad progresiva en el escenario de un burdo materialismo.

Myc: ¿Puede ser más explícito?

Metzinger: Las fuerzas sociales vinculantes, el consenso moral básico implícito, que en gran medida proviene todavía de la imagen metafísica del hombre, todo eso se puede seguir descomponiendo. Ahora la pregunta fundamental es: ¿qué puede seguir manteniendo unidas a las modernas sociedades de masas?

Singer: En ese punto quisiera yo incidir. Un tal desarrollo sería la consecuencia de un error de apreciación. Pero se podrá evitar si conseguimos transmitir responsablemente sobre el hombre. El hombre se debería entender a sí mismo como un ser desvalido, que está condicionado por múltiples factores y que dispone solamente de un espacio limitado de conocimiento. La consecuencia inmediata sería que configuraríamos nuestras vidas con mucha más humildad y seríamos más indulgentes los unos con los otros. Esa utopía de la humildad, esa cultura de la solidaridad entre todos supera con creces en humanidad a todas las utopías envueltas en bellas palabras.

Myc: ¿Cree usted realmente que el amor al prójimo sería más efectivo si desapareciera la fe en un Dios que conoce la acción del hombre?

Singer: Ser solidario, la capacidad de amar, todo eso es consustancial al hombre. La cuestión es si con eso basta.

Metzinger: No lo creo así. Lo que la evolución nos ha aportado es la solida-

ridad recíproca dentro de un grupo abar- cable, entre los congéneres con los que mantenemos un contacto físico. Nuestro aparato emocional es óptimo para los grupos pequeños. En cambio hay poco margen para el amor al prójimo en forma del “amor globalizado a los seres más lejanos”, hoy día tan urgente y necesar- io. Por tanto, el problema consiste en activar el discurso racional del que dispo- nemos desde hace tiempo. Nuestro dispositivo biológico no está destinado a extraer conocimientos racionales sobre relaciones humanas globales a partir de nuestras emociones, que son las que condicionan nuestros actos. Así mismo me parecen muy bonitas las ideas del profes- or Singer sobre una cultura de la humildad, pero la humildad no es algo que se pueda pretender activa o sistemática- mente sin comportarnos como hipócritas.

Singer: Evidentemente eso no lo consi- gue nuestro aparato emocional.

Myc: ¿Cabría recurrir a la estimulación inducida? ¿Cuáles son las posibilidades de intervención en el cerebro? ¿Qué efec-

tos mentales pueden conseguir los implan- tes neuronales o los neurofármacos?

Singer: De entrada hay que observar que los psicofármacos no constituyen nin- guna novedad. Al fin y al cabo, todos tomamos café. La humanidad ha sido siempre muy innovadora a la hora de desarrollar sustancias que actúan sobre la psique. Actualmente disponemos de un arsenal de fármacos psicoactivos y la gama de posibilidades aumenta enormemente de día en día.

Myc: Parece que usted no confía mucho en la efectividad de estas sustancias.

Singer: Claro que sí, pero es muy impro- bable que su ayuda sirva para optimizar nuestro cerebro, un órgano que se ha de- sarrollado durante un período tan largo de tiempo. Y en cuanto a su efectividad, podemos considerarla como casi perfec- ta. Seguramente se pueden optimizar algunos sectores, pero sólo a costa de otras funciones.

Myc: Algo que no excluye los abusos. ¿Cabe la posibilidad de que algunos padres ambiciosos intenten en un futuro

no muy lejano potenciar la inteligencia de sus hijos administrándoles dopaje cerebral?

Metzinger: Seguramente existirá esa tentación. Me parece muy importante la vertiente médica, pero también el aspecto de la ilegalidad. El problema de las dro- gas podría agravarse con las nuevas sus- tancias que procuran estados de con- ciencia más placenteros que los que conocemos hasta ahora. Y donde hay un mercado siempre habrá una industria que lo surta, legal o ilegalmente. Pero toda- vía más importante me parece la pala- bra clave, “neurotécnica”. Los científic- os trabajan en las posibilidades de intervención en el cerebro. En pocas palabras: se potencian en muchos terre- nos las posibilidades de modificar nues- tros estados mentales. Y ello representa un nuevo reto de grandes dimensiones para la ética aplicada.

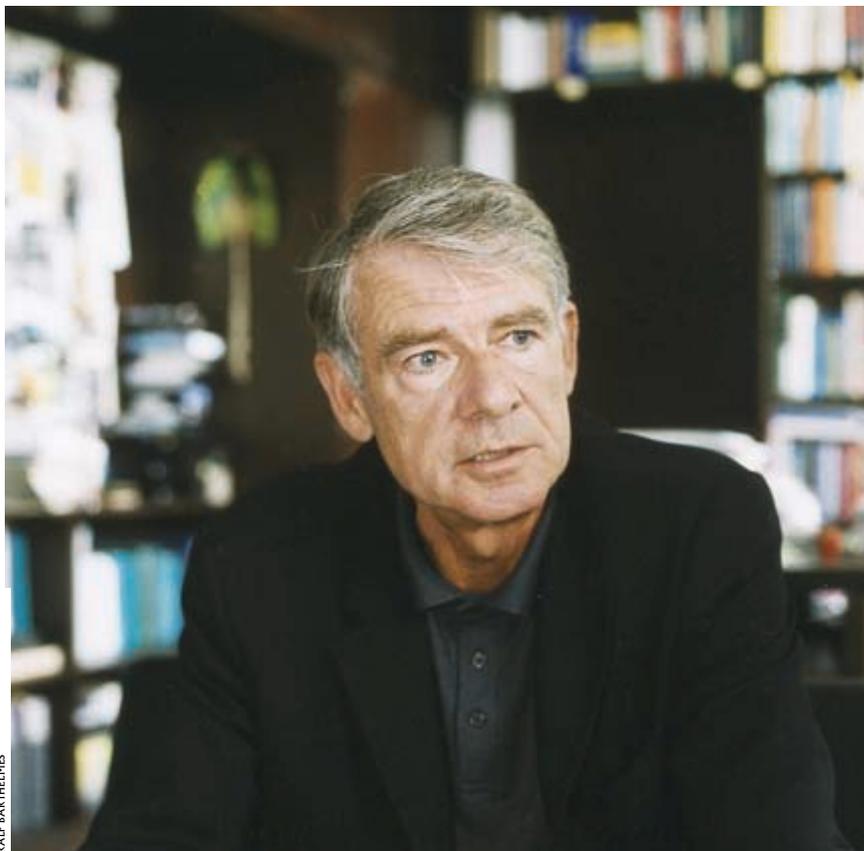
Myc: ¿Y seremos capaces de contro- larlo?

Metzinger: Cada uno de nosotros tendr- á que asumir en el futuro, y con más fuerza si cabe, la responsabilidad indi- vidual de sus propios estados de con- ciencia y de sus estados cerebrales. Y tam- bién la de su prójimo. Personalmente yo considero esos objetivos como expresi- ón del proyecto filosófico de la ilus- tración.

Singer: Ahí yo quisiera objetar que necesi- tamos una ética del control de la con- ciencia por procedimientos no farma- cológicos. Pensemos en determinadas prácticas de meditación. Si no cambian la conciencia, ¿para qué valen? Tampoco deberíamos perder de vista que fue posi- ble cambiar el estado de conciencia de todo un pueblo entre 1933 y 1945, de tal manera que había ciudadanos normales capaces de denunciar a su prójimo, asu- mir conscientemente su asesinato o incluso intervenir en él. Entonces se consumó en ciudadanos de clase media cul- tos y educados un cambio de conciencia de dimensiones incomparablemente mayores que el que pudiéramos conse- guir jamás con cualquier tipo de neuro- fármacos.

Metzinger: Yo también creo que los entornos mediáticos, que creamos para nosotros mismos, podrían revestir una amenaza mucho mayor que la simple manipulación farmacológica. De momen- to vivimos en mundos mediáticos arti-

“La sociedad tiene que ayudar a los neurocientíficos a formular nuevas reglas éticas”. Wolf Singer



RALE BARTHELMES

3. THOMAS METZINGER dirige el departamento de filosofía teórica del Seminario de Filosofía de la Universidad de Maguncia.

ficiales, para los que el cerebro humano no está óptimamente preparado. Con este trasfondo se tendría que enseñar en las aulas escolares estrategias de psicohigiene en las relaciones con los medios, lo mismo que clases de meditación.

Singer: Aquí la investigación cerebral podría conseguir algo positivo. Aumentan sin cesar las advertencias de que nuestras experiencias incluso modifican las estructuras físicas cerebrales de manera efectiva y duradera. Sobre todo, a raíz de experiencias traumáticas. Por eso deberíamos ser más escépticos frente al poder de la palabra, de la vivencia o de la acción. También en este contexto pienso que sería interesante un estudio sobre los efectos secundarios de la terapia psicoanalítica.

Myc: ¿Podría la neurobiología aplicarse a la terapia de los trastornos de personalidad?

Singer: No hay que excluirlo. Quizás algún día podamos curar de su mal a un delincuente sexual. Sería beneficioso siempre que se haga de mutuo consenso.

Metzinger: Yo ya he discutido muchas veces con estudiantes la cuestión de una tal rehabilitación neurotecnológica de delincuentes sexuales. Curiosamente los estudiantes americanos se mostraban mucho más abiertos en estas cuestiones mientras que en mis seminarios alemanes dominaban reservas considerables. Estas siempre se resumían en la exigencia de que el estado jamás puede ejercer el derecho de “reparar” a ninguno de sus ciudadanos tomado individualmente. Ante esa problemática los estudiantes contraargumentaban que en Estados Unidos es inhumano aplicar a alguien la violencia como castigo si se le puede curar su dolencia psíquica. Es un caso típico de futuros frentes a debatir.

Myc: ¿Cuál sería la postura en general ante la verificación por escáner de predisposiciones hereditarias quizá ya en los niños?

Singer: En la actualidad buscamos marcadores precoces del comienzo de determinadas enfermedades cerebrales. Y no perdemos la esperanza de aplicar con éxito terapias a los afectados por estas predisposiciones, terapias que se han de practicar antes de la pubertad, es decir, con anterioridad a la maduración definitiva del cerebro.



“Cada uno de nosotros tendrá que asumir la responsabilidad individual de su estado cerebral, y también el de su prójimo”. Thomas Metzinger

Metzinger: Es cierto que habría una protesta mayoritaria ante un reconocimiento generalizado de todos los niños, centrado en esa cuestión. Pese a todo no sería descabellado introducir en la práctica tales chequeos preventivos de tipo neuropsiquiátrico.

Myc: ¿Hasta dónde llegan estos chequeos? Por ejemplo: ¿se puede representar mi carácter con una resonancia magnética cerebral, pongo por caso con unos y ceros?

Singer: Es evidente que no. Todavía son muy rudimentarios nuestros conocimientos sobre las relaciones entre las estructuras cerebrales y las disposiciones de comportamiento. Nadie se atrevería a hacer deducciones en este terreno.

Myc: Todas las aplicaciones de la neurobiología que quizá puedan servir para mejorar nuestra vida serán previsiblemente muy costosas. ¿Cómo aplicar aquí

la justicia distributiva? ¿No existe el peligro de que sólo una elite de la clase alta se pueda permitir este elevado nivel de recursos humanos?

Singer: Ese problema ya lo sufre la medicina. Hay gente que no necesita hacer cola para un trasplante de corazón o riñón, y otros que no se lo pueden permitir.

Metzinger: Podría producirse una ruptura social en otros puntos. Uno de entre muchos ejemplos: Es posible que las compañías de seguros concedan rebajas a aquellos solicitantes que demuestren mediante escáneres cerebrales la exclusión de predisposiciones patológicas. Los menos favorecidos económicamente tendrán mejor disposición a mostrar sus rasgos caracterológicos, mientras que los más ricos, si quieren, se podrán seguir permitiendo el no dar los datos y mantener su esfera privada. Y en este punto, en mi opinión, se necesitarían directrices políticas.

El problema cuerpo-alma

Existe una creciente tendencia a reducir nuestras facultades superiores a la actividad de las neuronas del cerebro, a nuestra corporalidad biológica. Pero este conato reduccionista de solución ¿ayuda de verdad a comprender el clásico problema cuerpo-alma? Para poder explicar el mundo necesitamos, además de la aportación física, un componente espiritual

Franz von Kutschera

El problema cuerpo-alma es considerado como uno de los problemas filosóficos más enrevesados. ¿De qué se trata? En un sentido amplio, concierne a la relación entre lo físico y lo psíquico. En un sentido algo más estricto, el problema cuerpo-alma se enmarca en la cuestión sobre la posibilidad de la interacción psicofísica. ¿Cómo pueden los sucesos físicos provocar procesos psicológicos, y viceversa?

Lo mismo en la vida cotidiana que en las ciencias partimos del hecho de que se dan interacciones psicofísicas. Por ejemplo, un relámpago produce una sensación luminosa; una piedra que me cae sobre el pie, una sensación dolorosa. El miedo comporta una aceleración de las pulsaciones cardíacas y el estrés lleva, a veces, a un infarto.

Las diversas opiniones sobre la relación entre lo psíquico y lo físico han de afrontar distintos problemas a la hora de explicar estas interacciones. Sólo el materialismo no tiene problemas sistemáticos. En la esfera de lo físico rigen las relaciones causales y, para el materialismo —al menos para el sector más inflexible—, los sucesos mentales no son más que sucesos físicos singulares.

En cambio, al dualismo cartesiano se le presentan serias dificultades. René Descartes (1596-1650), científico y filósofo francés, postuló que el mundo se

compone de dos principios opuestos: la substancia pensante y la extensa, es decir, física. En este modelo del mundo las interacciones psicofísicas se darían entre dos ámbitos totalmente heterogéneos. Los problemas se agravaron históricamente porque, además, partían de un concepto de causalidad según el cual “en el efecto no puede haber nada que no esté ya en la causa”. Ahora bien, en el caso de la piedra que me cae sobre el pie, ésta no tiene nada parecido a una sensación; y, por tanto, no la puede causar.

En el problema cuerpo-alma no se trata de la cuestión de qué sucesos físicos causan qué sucesos psíquicos —o viceversa—, ni de cómo se muestran y funcionan en concreto tales nexos causales. Ni de qué leyes psicofísicas rigen. De aclarar estas cuestiones se ocupan las correspondientes ciencias particulares. La cuestión filosófica se acota en los términos siguientes: ¿cómo son posibles las interacciones psicofísicas?; ¿cómo se puede dar una explicación plausible de que un suceso escuetamente espiritual ejerza efectos físicos o de que un mero fenómeno físico tenga efectos psíquicos?

Importancia del planteamiento correcto

Quien aborde esta cuestión debe, ante todo, saber dónde están, propiamente, las dificultades o dónde habrían de estar. Hay tres principales. La primera proviene de la tesis de la anomalía de lo psíquico, que introdujo en la discusión moderna

el filósofo estadounidense Donald Davidson (n. 1917). Según esta tesis no hay, en sentido estricto, leyes psicológicas ni psicofísicas. Para Davidson, toda ley debe ser, en sentido estricto, exacta y determinista. Ahora bien, no estamos ante una exactitud en el sentido de la física y tampoco hay nada que objetar contra la validez de leyes psicofísicas deterministas. De este tipo es, por ejemplo, la ley de Weber-Fechner, que establece que las sensaciones dependen de los estímulos físicos.

Una cosa hay que concederle a Davidson: estas leyes no son exactas en la medida en que sólo son válidas bajo determinadas condiciones normales no precisas. Un estímulo óptico provoca una sensación cromática de determinada cualidad e intensidad, siempre y cuando el sujeto se halle despierto, atienda a sus sensaciones, no se encuentre bajo el efecto de drogas, esté sano, etcétera. Pero esto, por sí solo, no constituye una objeción real contra una causalidad psicofísica. Decimos que alguien se ha roto una pierna al resbalarse con una cáscara de plátano, aunque no conozcamos las leyes exactas por las que el efecto resulta de la causa. En otras palabras: un anomalismo psicológico no excluye interacciones psicofísicas.

Una segunda dificultad, algo más seria, del problema cuerpo-alma proviene de suponer una causalidad cerrada del ámbito físico. Para nosotros, lo que un fenómeno físico desencadena es un suceso



físico, como también lo es lo que un fenómeno físico causa.

Todo ámbito que interactúe con el dominio físico resulta, por eso mismo, integrado en él. Expresado de otro modo: todo acontecer físico transcurre según leyes físicas; todos los fenómenos físicos admiten explicación, en principio, por la sola física, es decir, por causas físicas. Así pues, todas las cadenas causales, en las que al menos un eslabón sea suceso físico, quedan sujetas por entero al ámbito físico. Si concebimos lo físico como un campo causalmente cerrado, entonces sólo podrá haber interacciones psicofísicas en el caso de que lo psíquico sea una parte de lo físico. Esta es precisamente la tesis del materialismo.

Para quien rechaza la doctrina materialista, lo psíquico no puede interactuar con lo físico si la esfera de lo físico está verdaderamente cerrada en sí misma. Y viceversa, la idea de la autonomía de lo físico no es válida en la medida en que se den interacciones psicofísicas. Pero si nos apartamos de la causalidad cerrada, que se halla en la base de nuestra com-

1. ¿TODO ES MATERIA? En el caso de esta estatua de mármol la respuesta es sencilla, por más que esté muy cavilosa. En el caso de los humanos, el asunto cambia.

prensión de la naturaleza física, entonces la aceptación de interacciones está en contra del dualismo.

De aquí se sigue que los tres enunciados (“los sucesos psíquicos no son sucesos físicos”, “se dan interacciones psicofísicas” y “el ámbito físico está causalmente cerrado”) son incompatibles entre sí, con independencia del concepto de causa que se tenga. Hay que abandonar, al menos, uno de los tres enunciados. Pero, ¿cuál?

Causalidad cerrada

La mayoría de los filósofos y científicos prescinden del primer enunciado, es decir, la tesis del dualismo. Pero no es necesario hacerlo. En la interpretación estándar de la física cuántica, en la llamada interpretación de Copenhague, no se puede hablar de una causalidad cerrada en el ámbito físico; se dejaría, pues, de lado el tercer enunciado. En la mecánica cuántica se describe un sistema

físico, por ejemplo una partícula, por medio de una determinada función matemática, una función de onda. Una medición del sistema altera esa función de onda. El hecho de la medición no se puede considerar como suceso en un sistema algo más amplio; el observador no es parte de la realidad física.

La interpretación de Copenhague no está exenta de discusión, pero por ahora no se vislumbra una interpretación mejor de la mecánica cuántica. Yo tampoco la emplearé aquí como un argumento para rechazar la causalidad cerrada; la tomaré como prueba de que dicha autonomía no es tan evidente como suele creerse.

Mi principal motivo para rechazar la causalidad cerrada de lo físico reside en lo siguiente: en cuanto personas, nosotros estamos en el mundo físico y podemos intervenir, como agentes libres, en sus procesos; en tal actuación, nuestras acciones no tienen causas, sino motivos. Podemos formarnos una imagen de la natu-



2. NATURALEZA ESCINDIDA.

René Descartes atribuyó al hombre una doble naturaleza: la materia extensa y el espíritu.

raleza física sólo porque formamos parte de ella y realizamos observaciones sistemáticas que nos permiten conocer qué sucede bajo qué condiciones. En este sentido, nuestra física presupone interacciones psicofísicas; por consiguiente, no las puede excluir. Por otra parte, la aceptación de una causalidad cerrada física no es un principio que esté en la base de la física, ni un postulado que sólo podría dejarse de lado cuando se diera un cambio de las teorías de la física.

Un vacío explicativo

La tercera dificultad, y la más grave, del problema cuerpo-alma reside, en definitiva, en el “agujero explicativo” entre estos dos ámbitos. Si se parte de una causa física y se sigue la cadena de sus efectos, entonces se permanece siempre en el campo de lo físico: la luz que refleja una superficie roja alcanza la retina de un observador. El estímulo óptico se transforma allí, por procesos químicos complejos, en impulsos eléctricos que, a través de las fibras nerviosas, llegan al cerebro y suscitan en éste determinadas reacciones psicológicas. Ahora bien, ¿cómo llega el observador a tener la sensación de rojo, a la conciencia de la superficie roja? Parece que estamos ante un salto incomprensible.

A la inversa, si se parte de un efecto físico, por ejemplo de la elevación de mi

brazo, y se sigue la serie de sus causas, entonces se continúa permaneciendo en el campo de lo físico: mi brazo se levanta, porque se contraen ciertos músculos; éstos se contraen, porque unos impulsos eléctricos de los nervios han desencadenado en ellos determinados estímulos fisiológicos; a su vez, los impulsos eléctricos en las fibras nerviosas periféricas son producidos por actividades neuronales del cerebro. Pero, ¿cómo es que mi deseo de levantar el brazo produce esos procesos en el cerebro? Parece que estamos de nuevo ante un salto incomprensible.

Este hiato explicativo constituye el punto crucial del problema cuerpo-alma. En su análisis, partimos de una constatación: en la vida cotidiana no se nos presenta. No nos sorprende, ni necesita ulterior explicación, que experimentemos dolor cuando nos cae una piedra en el pie, o que nuestro brazo se levante cuando queremos levantarlo. En suma, el problema cuerpo-alma se origina cuando nos distanciamos de la visión cotidiana de las cosas.

La sola voluntad no mueve nada

El primer distanciamiento consiste en que consideramos sólo interacciones entre sucesos físicos o psíquicos puros, e ignoramos los sucesos psicofísicos (es decir, más o menos psíquicos o físicos), por más que estos últimos abunden más que los físicos o psíquicos puros. Sería muy difícil presentar causas psíquicas puras de procesos físicos puros. Que yo quiera levantar el brazo no es, hablando con precisión, una causa de que se levante. Un acto de mera voluntad —si es que se da algo así— no produce nada. Incluso cuando quiero hacer algo de inmediato, puede surgir un imprevisto o puede ponerse de manifiesto que no es factible. En las acciones, el origen del acontecer físico son más bien las acciones mismas y éstas son algo psicofísico.

Un segundo distanciamiento de la perspectiva cotidiana reside en el desplazamiento de la frontera entre el sujeto y su mundo exterior. En cuanto personas, somos seres corpóreos, no almas cartesianas en cuerpos físicos. Los límites entre mi yo y mi entorno son los límites de mi cuerpo. En las fronteras corpóreas se localizan las sensaciones de los sentidos de proximidad. Con ellos experimentamos el entorno; nuestro cuerpo es, en lo esencial, también lo que está inmediatamente bajo nuestro control como agente. Desde este punto de vista, lo subjetivo no es sólo lo psíquico, sino que abarca también lo corpóreo y los movimientos corpóreos.

Sin embargo, podemos ajustar algo más las fronteras de lo subjetivo y hacer retroceder el hiato entre sujeto y naturaleza. El cuerpo, ante todo órgano de la persona, se torna, así, un objeto físico; los movimientos y sensaciones se describen como procesos físicos. Los remontamos hasta el cerebro y situamos las fronteras entre lo psíquico y lo físico, sobre las que han de discurrir las interacciones, en el sistema nervioso central. Lo mismo hizo Descartes.

En este punto, sin embargo, las interacciones se tornan del todo misteriosas, pues no podemos ni percibir ni controlar directamente los procesos de nuestro cerebro. Evidentemente, tiene sentido examinar los cambios fisiológicos que se operan en nuestro organismo, cuando percibimos o actuamos. Tiene también sentido concentrarse en estos casos en los procesos fisiológicos del cerebro. Pero, por ahora, apenas disponemos de leyes informativas que asocien los sucesos nerviosos con los mentales. Nuestra comprensión de las relaciones entre los procesos operados en el cerebro y la vivencia o pensamiento consciente resulta todavía muy pobre.

Por este preciso motivo, el seguimiento de las cadenas de efectos o causas físicas hasta los sucesos neuronales conduce, por ahora, a un callejón sin salida explicativo. Intuitivamente nos es mucho menos incomprensible que, si alguien toca un hornillo encendido, sienta dolor que alguien, al que se le disparan las “fibras-C”, sienta dolor. (Las fibras-C son un tipo de fibras nerviosas que transmiten las señales de dolor.)

Si conociéramos mejor las correlaciones neuropsicológicas, nos resultarían también algo más comprensibles los enunciados causales que se basan en aquéllas. Cabe que estas correlaciones sean extraordinariamente complejas, pues nuestras diferenciaciones psicológicas siguen criterios totalmente distintos y sirven a objetivos totalmente distintos de nuestras diferenciaciones físicas o neurológicas. Aunque admitamos, en línea de principio, la reducción de la biología a la física, se hace punto menos que imposible especificar con exactitud la base física de ciertos procesos biológicos; la floración, por ejemplo. Y, en última instancia, también sería prácticamente imposible asignar correlatos neuronales a estados mentales particulares; por ejemplo, a la “creencia de que Viena ya no es lo que fue”.

Con todo, el agujero explicativo consiste menos en el desconocimiento actual de las correlaciones neuropsicológicas que en su incomprensibilidad. Una des-

cripción fisiológica, por precisa que sea, de las fibras-C y de su excitación es compatible con *todos* los supuestos sobre las sensaciones subjetivas que las acompañan, pues, por falta de significados fenoménicos, los enunciados neurobiológicos no dicen absolutamente nada sobre lo mental.

Con este desplazamiento de la frontera entre lo subjetivo y la naturaleza exterior, fuera de los límites exteriores de nuestro cuerpo hasta el cerebro, no nos hallamos, pues, más cerca de la solución del problema cuerpo-alma; antes bien, nos vamos alejando. Son fáciles de comprender las conexiones entre nuestra vivencia y una naturaleza que describimos con predicados como “amarillo”, es decir, con predicados que tienen componentes significativos fenoménicos. La expresión de que, por regla general, captamos como amarillas las cosas amarillas es tautológica; no dice nada, porque es verdadera siempre.

Por el contrario, no es en absoluto tautológica la afirmación de que los patrones de excitación neuronal que hacen acto de presencia, cuando una radiación electromagnética de una longitud de onda de unos 6×10^{-4} milímetros afecta a nuestra retina, están ligados con sensaciones amarillas. Asimismo, sigue siendo incomprensible que una decisión puramente mental de levantar el brazo pueda provocar aquellos patrones de excitación (que llevan después a los impulsos

nerviosos y contracciones musculares) que son necesarios para que el brazo se levante de hecho. Pero no es ningún problema que el brazo se levante, cuando lo levantamos.

Más allá de la vida cotidiana

No abogo, por supuesto, a favor de que la investigación científica abandone esas conexiones psicológicas a las que la vida diaria nos tiene acostumbrados. Defiendo que la cuestión sobre la realidad de las interacciones psicofísicas sólo se plantea cuando nos distanciamos de los usos descriptivos cotidianos. Es más: sucede lo contrario. Me explico. Si nos preguntamos cómo es posible que de una diminuta semilla nazca un árbol poderoso, la biología nos lo aclara remitiéndonos a un micromundo subyacente bajo los fenómenos. En nuestro caso, sin embargo, el problema surge precisamente por remitirnos a lo que se esconde bajo los fenómenos. Conviene, pues, buscar el núcleo de la dificultad en la distinta forma de considerarla.

Con frecuencia podemos analizar un mismo fragmento de realidad de formas muy diversas, como un sistema de estos y aquellos objetos de este o aquel tipo. Attendamos a un ejemplo repetido y sencillo: la estatua. Un trozo de cobre (*a*) se transforma en una estatuilla (*b*) el día X. Las estatuas no son un trozo de cobre, pues los trozos de cobre siguen siéndolo por mucho que se les cambie de forma, no así

las estatuas. Además, con anterioridad a X sólo había *a*; no *b*. Pero, el día X, de *a* se origina un nuevo objeto *b*.

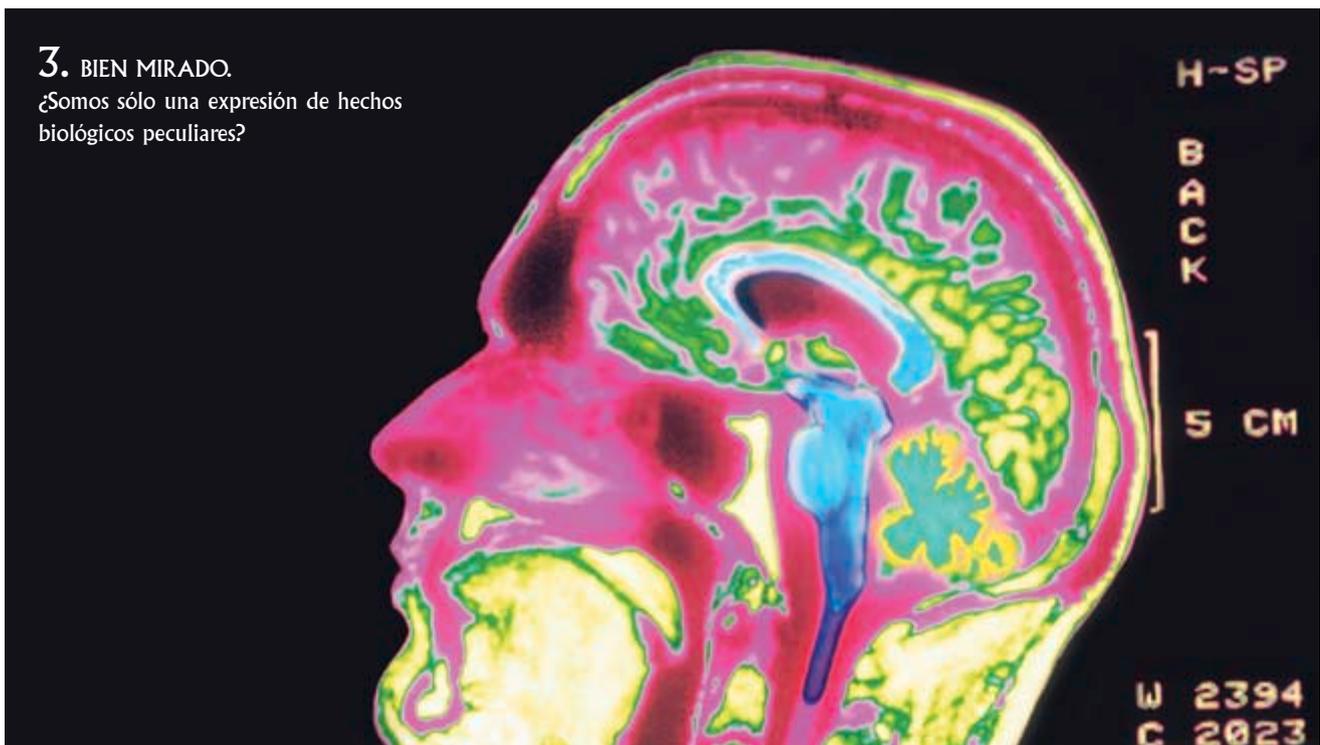
Por otra parte, la estatua es de cobre y, en este sentido, es, pues, también un trozo de cobre; llamémoslo *c*. Según esto, *c* es distinto de *b*, pero idéntico a *a*. Mas, puesto que *b* y *c* están en el mismo lugar al mismo tiempo, se vulnera un criterio fundamental de la identidad de objetos materiales, a saber, que son objetos idénticos los que se hallan al mismo tiempo en un mismo lugar.

¿Qué falla aquí? Hemos mezclado dos puntos de vista incompatibles entre sí. Según uno, hay una especie “fragmento cúpreo”, pero no una especie “estatua”, pues si hablamos de las especies en el sentido aristotélico de *infimae species*, que determinan la naturaleza específica de un objeto, entonces un mismo objeto no puede pertenecer a dos especies. En el primer punto de vista hay *a* y *c*, que son idénticos, pero no hay una estatua *b* como objeto propio. En este aspecto “ser estatua” constituye una propiedad particular añadida de los cuerpos que están hechos de cualquier material.

En cambio, en el segundo punto de vista se da la especie “estatua”. Es decir, hay estatuas como sustancias. Pero en este caso no hay la especie “fragmento cúpreo”, sino sólo “mero fragmento cúpreo” (“fragmento cúpreo y nada más”). Así pues, el día X de un mero fragmento cúpreo *a* se origina una estatua *b*. Y *b*

3. BIEN MIRADO.

¿Somos sólo una expresión de hechos biológicos peculiares?



tiene, pues, la propiedad de ser un trozo de cobre, pero no es un *mero* trozo de cobre. Tenemos, pues, *a'* y *b* como objetos propios, pero no *c*. El *a* del primer análisis no se puede identificar tampoco con el *a'* del segundo, dado que *a* es un fragmento cúpreo y *a'* un mero fragmento cúpreo. Las condiciones de continuidad de ambos son distintas: mientras *a* sobrevive al día *X*, *a'* termina su carrera ese día.

Si trasladamos estas reflexiones al problema cuerpo-alma, hemos de distinguir dos puntos de vista: en el primero se da la especie “persona” y, además, numerosas especies de cosas puramente físicas. Las personas son portadoras de propiedades tanto psíquicas como físicas. El cuerpo *k* de una persona *p* no es un objeto independiente junto a *p*, como tampoco el fragmento cúpreo *c*, en el segundo punto de vista de nuestro ejemplo, era un objeto independiente junto a la estatua *b*. Además, *k* no cuenta entre las cosas puramente físicas, sino que es, como hemos dicho más arriba, la encarnación de las propiedades corpóreas de *p*.

En el segundo análisis se dan, además, las especies puramente físicas; a ellas se agrega ahora la especie “cuerpo humano”. La especie “persona” debe, pues, desaparecer, porque, de lo contrario, habría cosas que serían tanto cuerpos como personas. Pero en este caso, nos faltan portadores adecuados de las propiedades psicológicas y autores de las acciones.

Recordemos: el problema cuerpo-alma radica en la cuestión de cómo fenómenos físicos pueden producir fenómenos

psíquicos, y viceversa. Según el primer punto de vista, en el que las personas actúan como una especie propia, la cuestión tiene sentido y no conduce a ningún agujero explicativo. En el segundo, sí se da un agujero explicativo, porque no hay portadores adecuados de condiciones psicológicas.

¿Cuerpos o personas?

El problema cuerpo-alma no consiste en la aceptación de conexiones entre ámbitos de realidad distintos que se explican sólo por leyes mentales. Desde la mecánica no se puede comprender el efecto electromagnético que se produce cuando mueve un conductor circular por un campo magnético. Y, a pesar de ello, no tenemos ningún escrúpulo ante leyes que relacionan fenómenos de estos dos campos distintos. ¿Por qué, pues, hemos de poner dificultades en el caso de las leyes psicofísicas? No hay razón. El problema cuerpo-alma empieza a surgir cuando se elimina a la persona como portadora de condiciones psíquicas y se coloca en su lugar el cuerpo como sistema físico.

El materialismo se descarta, entre otras razones, porque no se le presenta el problema de cómo ha aparecido —y sigue haciéndolo— el espíritu en el mundo. Si se sostiene el parecer de que lo espiritual no se puede derivar de lo físico, entonces hay que admitir que, con el primer ser humano, al que se le puede atribuir conciencia, apareció en el mundo algo enteramente nuevo. Pero, por lo que sabemos, la evolución del *Homo sapiens* a partir de los protohomínidos y su génesis a partir de otras formas de vida ha sido gradual. Impera la continuidad en el

desarrollo de cada ser humano, desde el embrión al ser adulto. No hay saltos.

Las dificultades de la pregunta “cómo ha llegado al mundo el espíritu” proceden, en parte, de sus presupuestos implícitos. La pregunta sugiere, en especial, que el espíritu —si no es algo material— ha entrado como ente extraño en un mundo netamente material. Pero esto es falso al menos en un aspecto. En la interpretación del realismo la naturaleza existe independientemente de nosotros, los humanos, y de nuestro pensar y sentir. Podemos admitir con cierta solidez que los humanos aparecieron en los últimos tres millones de años, de los aproximadamente trece mil millones de años transcurridos desde la gran explosión. Podemos admitir también que la evolución cosmológica o biológica hubiera podido ocurrir de forma que no hubieran aparecido los humanos. Pero, evidentemente, nosotros mismos, como sujetos de esta concepción y de esta experiencia, formamos parte de la concepción de la naturaleza como realidad, con la que tenemos que habérnosla en nuestra experiencia.

Diferenciando entre momentos subjetivos y objetivos de las sensaciones nos formamos la imagen de nosotros mismos y de la naturaleza. Ambas juntas constituyen nuestra realidad total. Ninguna de las dos partes se puede reducir a la otra y ninguna se puede entender sin la otra. A esta inderivabilidad sistemática corresponde, en una perspectiva histórica, el hecho de que no hay un origen físico de lo espiritual, no hay ninguna evolución de lo espiritual en un mundo inicialmente sólo físico.

Hace algunos años gozaba de gran predicamento el principio antrópico. En su versión débil sólo explicita una trivialidad: las leyes y condiciones iniciales de la evolución cósmica fueron dispuestas, desde el principio, de tal manera que era posible la aparición de observadores conscientes como nosotros, los humanos. Es trivial, porque es comprobable que hemos aparecido. Es obvio que lo que existe es siempre posible.

En su versión fuerte, el principio antrópico sostiene que la evolución cosmológica estaba dispuesta, desde el inicio, de manera que, más tarde o más temprano, *debían* surgir observadores en el universo. Según esta versión, nuestra existencia se hallaba, pues, prevista desde el comienzo. Creo que se debería sustituir este principio antrópico, altamente problemático, por el principio, sin duda correcto, del filósofo Immanuel Kant (1724-1804): “El *yo pienso* debe poder acompañar todas mis representacio-





nes”. Es decir, todos los enunciados sobre la naturaleza han de ser compatibles con que los hacemos nosotros; con que hay seres como nosotros que desarrollan representaciones sobre la naturaleza, que pueden hablar y pensar y para quienes la naturaleza es un objeto y tema.

Esto nos devuelve a la concepción fundamental de la epistemología, según la cual no tenemos un punto de vista externo desde el que podamos considerar, por así decirlo, lo espiritual desde fuera —pues ciertamente sería una consideración no-espiritual—. También sería una consideración desde fuera el intento de describir lo espiritual dentro de la historia de la evolución de la humanidad o también del desarrollo de cada uno de los seres humanos.

Desde la inmanencia, el único acceso que tengo a mi propio desarrollo hacia un sujeto consciente de sí mismo son mis recuerdos. Estos me muestran perfiles y trazos de desarrollos espirituales, pero, según las leyes de la naturaleza, no se remontan más allá del estadio del ser sujeto. Sólo puedo recordar lo que yo mismo he vivido o hecho como aquel que yo soy ahora. Además, la psicología evolutiva o la biología me indican, por ejemplo, cómo se desarrollan en los párvulos sus capacidades de percepción

o de control de sus movimientos corporales. Sin embargo, esto es sólo una historia de las capacidades del comportamiento que sólo indican, más o menos, cómo viven los párvulos su entorno o qué pasa en ellos.

Algo análogo vale para el desarrollo global de lo espiritual. Podemos comprender por las tradiciones, con las que todavía estamos familiarizados, la vida de tiempos pasados; podemos conocer cómo pensaban y sentían los humanos de entonces, y cómo ha cambiado a lo largo del tiempo. Ni siquiera con los humanos del paleolítico (1.000.000-10.000 a.C.) nos une una memoria cultural, de manera que podamos saber algo de su *comportamiento*. Y esto es mucho más válido respecto de las formas de vida de los proto- y los prehomínidos.

Lo espiritual, tal como podemos conocerlo hoy, entra, pues, en la historia más o menos acabado. Por otra parte, lo espiritual está ligado con las formas de comportamiento y relacionado con las condiciones fisiológicas y con el desarrollo del cerebro y, sobre todo, con la capacidad de hablar. Se pueden seguir más estas pistas externas del espíritu. Pero, de nuevo, nos encontramos ante dos puntos de vista que sólo son compatibles en parte.

4. RENDICION INCLUIDA.

¿Podemos reducir cualesquiera cualidades espirituales a procesos biológicos de nuestro cerebro? Dar cuenta, con exactitud física, del mero desarrollo de una flor está prácticamente excluido, incluso si creemos en una reducción fundamental de todos los procesos biológicos a los físicos.

Caídas del cielo

En la alegoría de Sócrates en el diálogo *Fedro* de Platón el espíritu desciende, en sentido literal, del cielo; las almas, que existían incorpóreas, se encarnan en cuerpos. No se explica cómo ha de funcionar esta encarnación y, por tanto, el proceso es tan incomprensible como la relación entre alma y cuerpo en Descartes. La historia socrática es una interpretación de la relación entre espíritu y cuerpo en ropaje mitológico, es decir, supera lo que se puede justificar racionalmente.

Platón no pretendía contribuir en nada al problema cuerpo-alma, sino decir algo sobre la libertad del espíritu, sobre su relación con lo eterno y sobre la relación entre culpa y destino. Cuando hoy buscamos entre los biólogos información sobre la relación entre espíritu y cuerpo, recibimos informaciones más detalladas y más seguras. Pero, para la historia de lo espiritual en este mundo, no son inmediatamente relevantes, pues afectan tan sólo al desarrollo del comportamiento.

Evidentemente se da una conexión entre espíritu y comportamiento. Pero sólo se puede comprobar en la medida en que tengamos un acceso inmanente a las correspondientes formas de la vida psíquica, y éste acaba de repente. También para nosotros empieza la historia del espíritu de repente, ¡es como si cayera del cielo! No podemos derivar el espíritu de ninguna otra cosa, como tampoco lo físico. Si no se reduce lo espiritual a lo físico, entonces se requieren también, junto a la gran explosión como principio inderivable de lo físico, unos principios inderivables de lo espiritual.

FRANZ VON KUTSCHERA es profesor emérito en el Instituto de Filosofía de la Universidad de Regensburg.

Bibliografía complementaria

DIE TEILE DER PHILOSOPHIE UND DAS GANZE DER WIRKLICHKEIT. Franz von Kutschera. Walter de Gruyter, 1998.

Sistema acústico de orientación

Sabido es que los murciélagos se sirven de la ecolocación para cazar. Avanzando en el estudio de estos depredadores nocturnos se van descubriendo los trucos refinados que utilizan para tensar al máximo los límites físicos de sus facultades

Manfred Kössl y Marianne Vater

Sombras negras se deslizan por el cielo nocturno, revolotean silenciosamente en danza circular alrededor de la farola encendida y vuelven a desaparecer: ¡los murciélagos! Pero esta escena pacífica es engañosa. Aunque imperceptible para el oído humano, tiene lugar una caza de técnica depurada en frecuencias de ultrasonido, por encima de los veinte kilohertz. En busca de su presa los depredadores nocturnos barren el cielo mediante sistemas de ecolocación, optimizados en el curso evolutivo.

Cuando un insecto se pone en el punto de mira, unos sondeos cada vez más rápidos suministran al depredador la máxima información física posible sobre la víctima. Una información analizada por un sistema nervioso capaz de producir imágenes precisas resonantes del entorno. Con la particularidad de que las diferentes especies de murciélagos han desarrollado, en función de sus necesidades, técnicas distintas y cada vez mejor conocidas para los investigadores:

- un repertorio de sonidos de orientación adecuados para cada fase de la caza,

- estructuras especiales en el oído,
- procesamiento cerebral de las informaciones acústicas muy elaborado.

Ya en el siglo XVIII Lazzaro Spallanzani (1729-1799), naturalista y obispo de Padua, descubrió que los murciélagos se orientaban y depredaban sin recurrir a la vista. Y cuando Louis Jurine (1751-1819), zoólogo ginebrino, les tapó los oídos con cera, estos quirópteros perdieron todo sentido de la orientación. Spallanzani reflejaba su asombro en sus apuntes: “¿Se puede ver con los oídos?”. Uno se puede imaginar perfectamente la confusión del investigador.

Sólo hasta la mitad del siglo XX no se halló respuesta definitiva a su pregunta. Donald Griffin, zoólogo y etólogo de Harvard, consiguió hacia 1940 registrar los ultrasonidos de los murciélagos, imperceptibles por el oído humano. Más tarde los investigadores descubrieron un sistema similar de localización por eco en los odontocetos. Los únicos vertebrados no mamíferos de los que se conoce un sistema de localización por eco son las salanganas y otras apódidas, aves que anidan en las alturas y sólo allí emiten chillidos chasqueantes de ubicación.

Los murciélagos insectívoros poseen los sistemas más desarrollados de ecolocación. La frecuencia de los sonidos emitidos reviste un significado decisivo, pues no sólo han de orientarse en espacios con grandes paredes como las cuevas, sino que tienen también que capturar pequeños insectos voladores. Si la longitud de onda del sonido es demasiado larga en comparación con el tamaño del objeto buscado, la onda sonora rodea a la presa potencial y no se refleja. Cuanto menor es la longitud de onda y consecuentemente más alta la frecuencia de la señal acústica tanto menores serán los objetos que puede captar el sistema de ecolocación.

En las operaciones de caza, las frecuencias empiezan con un valor en torno a los 10 kilohertz. Con una longitud de onda de 3,3 centímetros, el depredador podrá detectar insectos voladores de un tamaño mayor. Se impone una frecuencia más alta, si se trata de localizar presas menores y de suministrar información sobre la constitución física y el grado de aprovechamiento de la víctima. Por eso, lo normal es que los sonidos de localización de los murciélagos pasen de los 100 kilohertz. El récord de frecuencia lo ostenta, con 213 kilohertz,



Cloeotis percivali, un pequeño murciélago sudafricano.

Las ventajas de la técnica

Las aves no han desarrollado un sistema de ecoorientación tan extenso como los mamíferos. No se hallan capacitadas para percibir frecuencias ultrasónicas. Quien más lejos llega es la lechuza, con un máximo de 10 kilohertz. El hecho de que, ante las altas frecuencias, los mamíferos dispongan en posición rostral la nariz o, mejor, las orejas se debe a dos razones. Por un lado, existe una particularidad del oído medio, que transmite las vibraciones sonoras desde el tímpano al órgano sensorial propiamente dicho, el oído interno. Este tiene en los mamíferos, a diferencia de los anfibios, reptiles y aves, no uno sino tres huesecillos transmisores del sonido. A través de ellos parece que el oído mamífero puede transmitir mucho mejor los tonos altos.

Segunda razón de la superioridad de estos mamíferos: pueden amplificar, en su oído interno, un ligero ruido incluso con las máximas alturas de tono. Se valen

1. PRESA FACIL. Con ayuda de su radar de alto rendimiento el murciélago de herradura ha detectado una víctima.

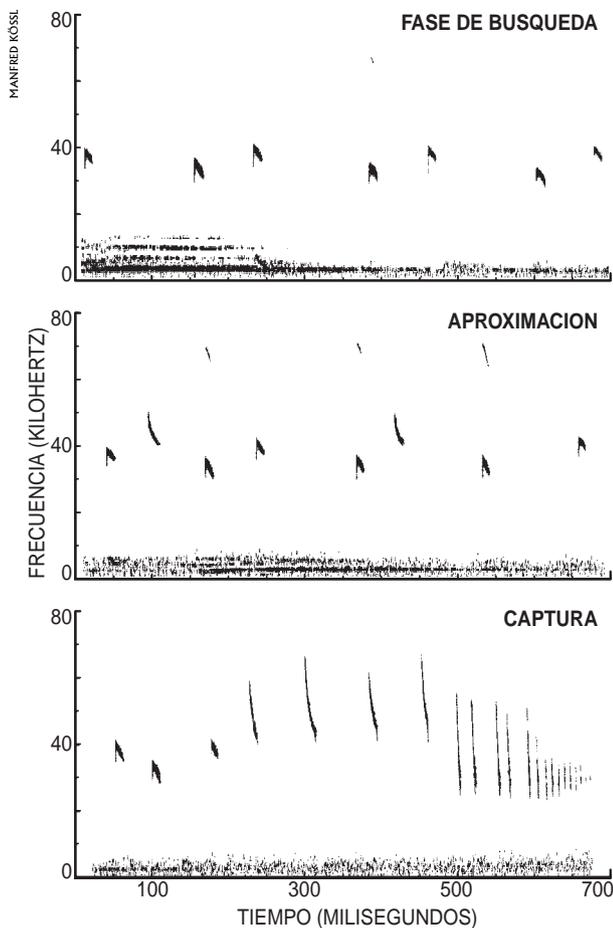
del siguiente proceso: las células ciliares sensoriales y externas de la cóclea modifican rítmicamente la forma de su cuerpo celular. (La cóclea forma parte del oído interno, donde las ondas sonoras se transforman en impulsos nerviosos.) Con ello los mamíferos mejoran drásticamente la sensibilidad básica de su aparato auditivo. Las recientes investigaciones demuestran que esta potencial sensibilidad se mantiene en la zona de los ultrasonidos; es decir, el de las frecuencias sonoras de los murciélagos durante la caza.

Pudiera suceder que los mamíferos voladores no “vieran” su entorno mediante la ecolocación con la acuidad con que nosotros vemos a través de nuestros ojos. Por un lado, es limitado el alcance de los sonidos de orientación. Los murciélagos se enfrentan aquí a un problema fundamental: a diferencia del sentido de la vista, sólo pendiente de que lleguen ondas luminosas al ojo, el sistema de

ecolocación tiene que producir su medio —las ondas sonoras— con una elevada inversión de energía. A ello se agrega que la atmósfera del aire absorbe de manera muy considerable las altas frecuencias tonales, en particular si median importantes valores de temperatura y humedad ambiente. Algo que afecta precisamente a los murciélagos, muchos de los cuales viven en los trópicos.

Por eso, muchos animales producen un sonido cuya intensidad equivale, en proporción, a la del ruido de despegue de un cazarreactor. Pero incluso con los gritos de sondeo más chirriantes el alcance de la ecolocación llega solamente a los 10 metros, en condiciones óptimas y con una frecuencia relativamente baja de 20 kilohertz. En la práctica, los murciélagos abarcan quizá por lo común un campo de unos seis metros.

Pero la visión del mundo de un murciélago se diferencia de nuestra percepción visual no sólo por el alcance de



2. GRITOS EN LA OSCURIDAD. *Molossus molossus* emite diferentes sonidos de sondeo para cazar insectos. El espectrograma ilustra los cambios operados en las frecuencias y los períodos de tiempo en las distintas fases. Para buscar sus presas, el murciélago emite señales relativamente largas (de alrededor de diez milisegundos) y de banda estrecha (*arriba*). Cuando localiza a una posible víctima, emite, durante la fase de aproximación, sonidos de banda más ancha entre las señales de búsqueda para identificar al insecto con más precisión (*centro*). Tras una detallada inspección del insecto con ayuda de sonidos de banda muy ancha, el murciélago eleva los intervalos de repetición de sonidos hasta el punto de poder perseguir exactamente la posición de la presa (*abajo*).

tos sólo de forma aproximada: los murciélagos emiten rápidamente en el vuelo muchos sonidos de localización con cortos intervalos y así reciben imágenes acústicas estroboscópicas de su entorno inmediato. Emiten sonidos en intervalos lo más cortos posibles, con el fin de registrar en un determinado momento la posición de sus presas. La máxima frecuencia alcanzada de estos sonidos de orientación se cifra en doscientos por

segundo, cuánta necesaria para procesar los ecos percibidos. Es decir, las prestaciones de la técnica estroboscópica y consecuentemente la exactitud en la localización de la presa se hallan muy acotadas.

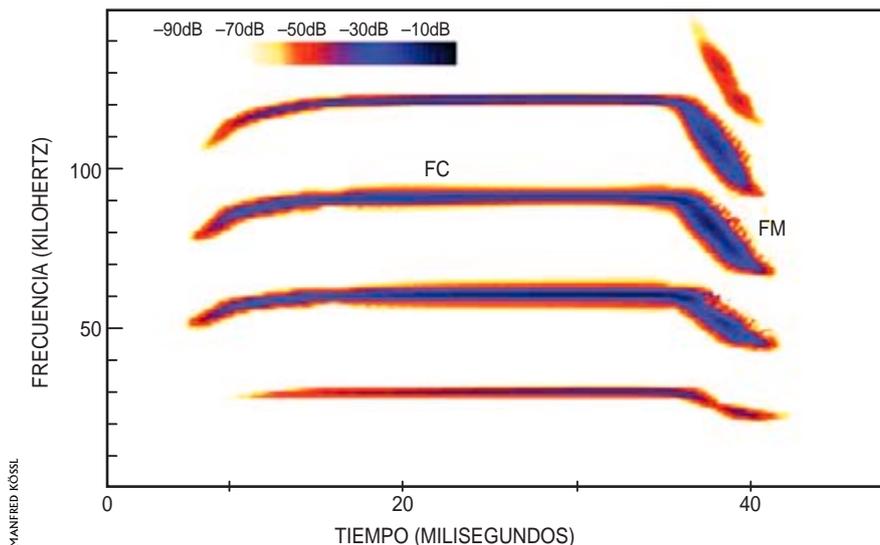
Son sobre todo las rápidas maniobras de vuelo de los murciélagos las que alte-

ran sin cesar las imágenes que reciben del entorno. Se trata de un auténtico desafío para su sistema nervioso. Deben compensar las instantáneas con los cambios de posición del propio cuerpo para conseguir así una reproducción efectiva del entorno. Y el cerebro apenas dispone de tiempo para procesar tanta información, justamente unos milisegundos; de otra manera se escaparían los ágiles insectos o el murciélago se estrellaría contra un árbol.

A tenor de su modo de vida, cada especie ha desarrollado su propio repertorio de tonos de caza. Así, *Molossus molossus*, un murciélago de Cuba, emite sonidos cuya altura de tono va cambiando en el transcurso del vuelo. A las señales de este tipo se las denomina señales de frecuencia modulada (FM); a los que las emplean, murciélagos FM. Se pueden diferenciar con nitidez una de otra las señales individuales del mismo sujeto según la fase de la depredación en que se encuentre.

Si un murciélago busca una presa todavía potencial, emite sonidos de sondeo bastante céleres y de una duración aproximada de 10 milisegundos, que en conjunto proceden de un intervalo de frecuencias de 35 a 40 kilohertz. Centraliza así toda la energía de resonancia en estas frecuencias y eleva el alcance

la misma. En los quirópteros están finamente ajustados tanto los órganos de emisión de sonidos como los de recepción. De ahí que no tengan ninguna visión panorámica de su entorno, sino que se orienten oyendo los ecos de espacios muy restringidos. La ecolocación puede, además, desencadenar movimien-



3. COMBINACION. El sonido de ecolocación emitido por *Pteronotus partellii* contiene componentes persistentes de frecuencia constante (FC) de diferentes alturas tonales. A éstos les sigue en cada caso una señal de frecuencia modulada (FM) muy corta, en la que la frecuencia del sonido emitido baja rápidamente. El volumen de cada uno de los componentes de la emisión de sondeo está codificado en colores.



DIETMAR NILL / HIRNING NATURBLD

4. ATENCION A LA PRESA.

Con sus enormes pabellones auditivos el murciélago orejudo aguza el oído para captar los ruidos delatores de la presa.

de sus emisiones de ecolocación. Cuando hay presa a la vista, el murciélago empieza a acortar sus sonidos de orientación. Inmediatamente antes de cazar al insecto, las señales duran casi siempre sólo un milisegundo o menos. De ese modo, la ecolocación resulta más exacta en el tiempo y el murciélago puede captar también con mayor precisión espacial a un insecto de vuelo rápido. Además, con este mecanismo el quiróptero evita en buena medida que se solapen el sonido emitido y el eco, lo que perturbaría el procesamiento de este último.

Al mismo tiempo se eleva el ancho de banda de los sonidos de sondeo, ya que el murciélago baja rápidamente la frecuencia durante la emisión. De ello, el animal se aprovecha en un doble sentido: por un lado el eco de estas emisiones de banda ancha excita en el oído interno muchas células sensoriales ajustadas a diferentes frecuencias. De esta forma el cerebro recibe más informaciones, a partir de las que puede calcular con más exactitud el margen temporal entre el sonido y el eco y con ello medir la distancia a que se encuentra la presa.

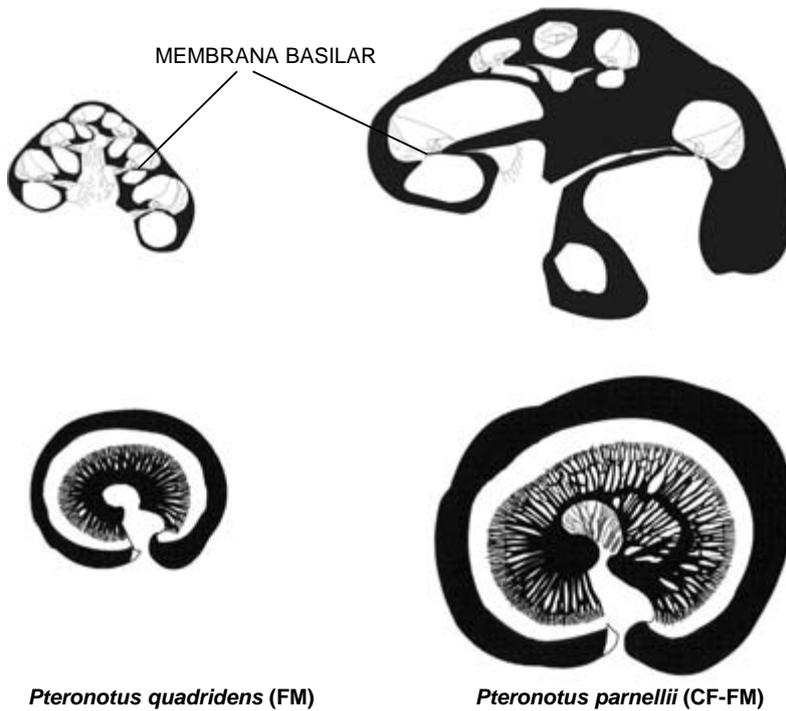
Además, el murciélago puede identificar mejor la presa interceptada. Tanto

la estructura superficial como el tamaño y la posición del exoesqueleto de los insectos influyen en el tipo de frecuencias que se reflejan, se pierden o incluso se amplifican (mediante mecanismos de reflejos múltiples) en el insecto mismo. Todo ello hace que cambie de forma muy peculiar el tono del eco. Probablemente aprovechen los murciélagos estos cambios característicos de tono para decidir si les apetece en ese preciso instante el insecto a su alcance. Es posible que almacenen en su cerebro incluso algo parecido a imágenes acústicas prototípicas de insectos. Entonces podrían caracterizar y, en caso positivo, poner en su menú a los insectos que entren en su radio de localización, incluso independientemente del tamaño del ejemplar y de sus características.

Más complicada es la captura de presas para aquellos murciélagos que no cazan en el aire, sino cerca del suelo o de la vegetación. Ocurre aquí que la mayor parte de los ecos no procede de la presa, sino de otras estructuras del entorno. Las hojas de las plantas representan unos reflectores ideales. Se superponen con ecos perturbadores a los ecos suaves de la presa, lo que dificulta sobremanera la depredación.

Para sortear ese escollo, los murciélagos han desarrollado dos estrategias diferentes de caza a ras del suelo. Algunas especies están a la escucha de los ruidos producidos por la presa misma. Estos “murciélagos cuchicheantes” se orientan en términos generales con ayuda de la localización por eco, pero utilizan señales muy suaves para que sus propios sonidos de localización no acallen los ruidos procedentes de las presas. Para ello se sirven de sus enormes pabellones auditivos, mediante los cuales amplifican por diez o quince veces los sonidos suaves como con un conducto auditivo (véase la figura 4). La caza en ese tono susurrante ofrece, además, la ventaja de que la presa potencial no está advertida. A menudo, los depredadores nocturnos con sordina acosan a micromamíferos como los ratones, y éstos pueden oír los ultrasonidos de orientación.

La segunda estrategia para poder reconocer a los insectos en un trasfondo de hojas consiste en una hábil combinación de diferentes tonos de sondeo. Algunas especies de murciélagos emiten antes del grito breve en FM un sonido mantenido durante un tiempo un poco más prolongado y cuya altura de tono permanece prácticamente constante (abreviado FC;



Pteronotus quadridens (FM)

Pteronotus parnellii (CF-FM)

5. OIDO INTERNO EN CURSO DE EXPANSION. Comparación de tamaños del oído interno, vistos en corte sagital, de *Pteronotus quadridens* (izquierda), un murciélago FM, y de su pariente próximo *P. parnellii*, un murciélago FC-FM, cuyo oído interno es casi tan grande como el de un ratón doméstico. La membrana basilar, donde se ubican las células sensoriales ciliares, divide el espacio de los fluidos que tiene una estructura coclear. *P. parnellii* transforma el espacio en torno a la frecuencia dominante FC2 de unos 62 kilohertz en la curva inferior notablemente abultada. Aquí la mitad del canal coclear analiza únicamente frecuencias de entre 59 y 66 kilohertz en un dominio acústico del animal de alrededor 5 a 130 kilohertz.

en inglés Constant Frequency). Por eso se les llama murciélagos FC-FM.

Cuando la componente de la señal en FC topa con un insecto volador, empieza a oscilar rítmicamente la intensidad del eco, puesto que las alas del insecto cambian el ángulo de reflexión del sonido con el batido alternativo de sus alas. Además, crece ligeramente la frecuencia del eco producido —si las alas del

insecto se orientan hacia el murciélago— y remite cuando se alejan. Este fenómeno constituye una forma de efecto Doppler, que conocemos por ejemplo en la caída del tono de las motos o de las sirenas de la policía que pasan por delante de nosotros. Por esa vía, las especies *Pteronotus parnellii* y *Rhinolophus rouxi* distinguen de los ecos de la hojarasca los ecos de los insectos. Pero si el insecto

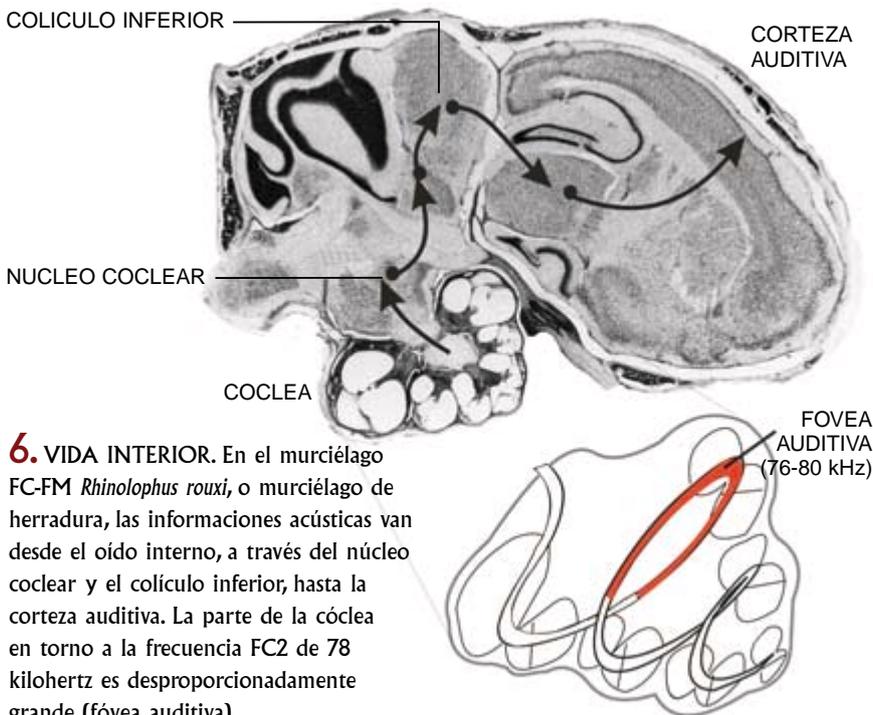
se posa, estos trucos no sirven de nada. La presa se diluye en el ruido de fondo de la vegetación.

Reestructuración: oído de alto rendimiento

Muchos murciélagos han hecho cambios enormes en su órgano auditivo para adaptarse a los especiales requisitos de la ecolocación. El oído interno, en particular de las especies FC-FM, es enorme comparado con el de otros murciélagos y demás micromamíferos; ocupa, casi por entero, la zona posterior del cráneo. Ello es debido sobre todo al enorme tamaño de una parte de la cóclea (véase la figura 5).

En esta estructura del oído interno se encuentra la membrana basilar, que aloja las células ciliares. Estas células sensoriales transforman el sonido en señales eléctricas. Las ondas sonoras aferentes provocan vibraciones de partes de la membrana basilar, con una singularidad: cada parte de la membrana reacciona con una frecuencia distinta. Los tonos bajos sensibilizan la membrana en la punta de la cóclea; las frecuencias altas, por el contrario, en la parte inferior de la misma. La orientación de la membrana estimula en cada caso las células sensoriales ciliares ubicadas en ese punto, que automáticamente disparan un impulso en dirección al cerebro.

En la mayoría de los mamíferos, disminuye con bastante regularidad la frecuencia desde la entrada hasta el ápice de la cóclea, frecuencia que orienta un sitio determinado de la membrana basilar. No así en los murciélagos FC-FM,



6. VIDA INTERIOR. En el murciélago FC-FM *Rhinolophus rouxi*, o murciélago de herradura, las informaciones acústicas van desde el oído interno, a través del núcleo coclear y el colículo inferior, hasta la corteza auditiva. La parte de la cóclea en torno a la frecuencia FC2 de 78 kilohertz es desproporcionadamente grande (fóvea auditiva).

en cuya membrana basilar hay un espacio amplio que se concentra en la parte fundamental del eco: la FC2. En *Pteronotus partellii* se eleva a unos 62 kilohertz. En el momento oportuno, la enorme curva inferior de la cóclea de este quiróptero procesa exclusivamente frecuencias de aproximadamente 59 a 62 kilohertz; un intervalo ajustado en torno a la FC2. Por el contrario, en el murciélago de herradura se extiende dicho intervalo de frecuencias hasta los 78 kilohertz, más o menos.

De la investigación sobre el aparato de la visión se infiere que un órgano sensorial se ocupa de forma prominente de un segmento de la información recibida; la fóvea, en el centro de la retina, analiza el núcleo central del campo de visión —es decir lo que se ve directamente— con la ayuda especial de muchos receptores visuales situados muy juntos unos de otros. A semejanza de la óptica, se ha dado en llamar fóvea auditiva a la excesiva representación del dominio de frecuencia FC2 en la cóclea. En el caso de los murciélagos FC-FM hay en ese punto muchas más células sensoriales ciliares, internas, que procesan las correspondientes frecuencias que en otros animales. Un número correspondientemente mayor de fibras nerviosas auditivas abastece al cerebro con informaciones sobre los ecos FC2.

¿Qué oyen los murciélagos con sus oídos evolucionados? Depende en primer lugar del tipo de sonidos de orientación preferentemente usados. *Mormoops blainvillii* emite breves sonidos de la banda ancha FM y su mejor radio de audición está entre los 30 y 40 kilohertz, aunque percibe con nitidez hasta 100 kilohertz. Lo que explica, por otro lado, que no encuentre dificultades para distinguir su propia emisión de sondeo. *Molossus molossus*, un murciélago FM, tiene también una curva de umbral auditivo comparable a la de la especie anterior.

Por el contrario *Pteronotus partellii*, un murciélago FC-FM, es bastante insensible a la frecuencia de sus propios sonidos FC. En compensación oye mejor varios cientos de hertz por encima de los mismos. La explicación de este canal de frecuencia deformado reside en la velocidad de vuelo del animal, que eleva, a través del efecto Doppler, el tono de los ecos reflejados. Durante la caza, el quiróptero modifica su frecuencia de emisión de manera que, con independencia de la velocidad de vuelo, el eco reflejado se mantiene constante en el dominio de la capacidad óptima auditiva. Así pues, los propios sonidos de sondeo no

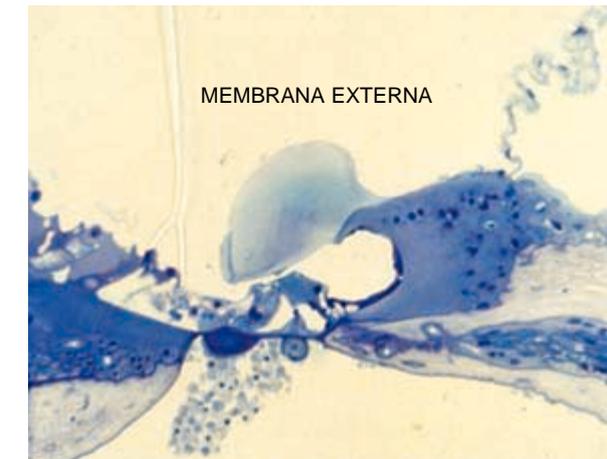
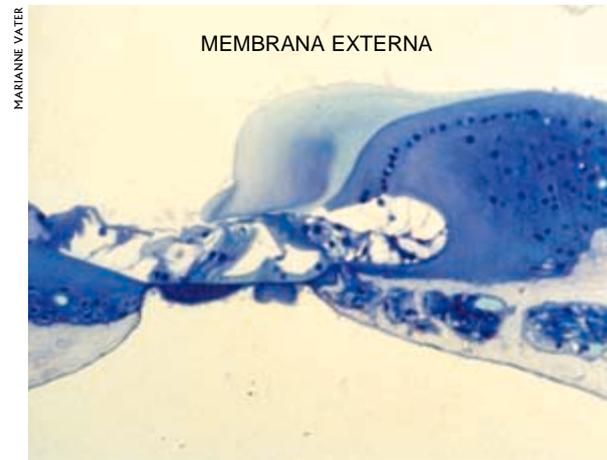
7. ESTRUCTURA DE LA RESONANCIA. Si hacemos sendos cortes en dos puntos de la sinuosidad inferior de la cóclea de *Pteronotus partellii* veremos una clara diferencia: la membrana externa sobre las células sensoriales ciliares aparece en la región FC2 más conspicua (*arriba*) que la zona coclear antepuesta en esta misma zona (*abajo*).

pueden perturbar las imágenes sonoras de los insectos que penetran en su zona de alcance.

Pero lo sorprendente en los murciélagos FC-FM es que consigan separar y procesar de manera diferente las frecuencias de las emisiones de sondeo y las de los ecos que suenan tan próximas unas de otras. Pero hay más: tienen también que rastrear las mínimas variaciones de frecuencia en el eco, causadas por el batir de alas de los insectos, y discriminar entre las presas potenciales y la hojarasca del entorno. La fóvea acústica de los murciélagos tapa los dos dominios de alturas del tono y no puede encargarse de esa selección. Además *Pteronotus partellii*, por ejemplo, con unos 93 kilohertz, fuera pues de la fóvea, tiene una división de frecuencia mejorada.

Se ha detectado otra especialización de la cóclea responsable de esta prestación: un resonador. Sito por encima de la membrana basilar, se sirve de la membrana externa, una estructura muy compacta del oído interno y suprayacente sobre las células ciliares (*véase la figura 7*). En el caso de los murciélagos FC-FM la membrana externa, en la zona de la cóclea —procesadora de tonos algo más altos que los de la frecuencia FC2—, no está rígidamente amarrada sino sólo unida por un estrecho puentecillo a la estructura ósea de fijación. Por eso puede vibrar con las ondas acústicas aferentes y amplificar las frecuencias del eco.

La investigación se sigue también preguntando por qué la membrana externa no resuena exactamente por encima de la zona FC2, sino a la vera de ésta. Es posible que el mecanismo de vibración tenga que estar espacialmente separado de las células sensoriales para evitar ruidos distorsionadores. ¿Y cómo consiguen esa insensibilidad frente a los tonos emitidos por ellos mismos? Análogamente a la amplificación de la resonancia, la membrana externa, por encima de otros sectores de la membrana basilar, está construida de suerte tal, que amortigua las vibraciones para suprimir las frecuencias de las emisiones de sondeo



propias de los murciélagos. Gracias a este mecanismo, los individuos FC-FM son los seres del reino animal en posesión de los órganos auditivos más agudamente ajustados, es decir, regulados óptimamente para recibir determinadas frecuencias.

Para su desgracia, sin embargo, los murciélagos FC-FM, con su resonador de oído interno, cargan con el problema básico de todo mecanismo de análisis de frecuencias: cuanto mejor mide la frecuencia, tanto más inexactamente determina el momento de entrada y la duración de un tono. Por regla general, una célula sensorial se dispara directamente y sin dilación en cuanto la excita una onda sonora. Pero cuando hay una amplificación de las frecuencias por resonancia, la respuesta eléctrica de las células sigue funcionando durante un tiempo bastante largo. Tampoco retorna al punto cero el potencial de la célula, una vez que se ha apagado el tono, sino que continúa oscilando. Por eso es difícil para el cerebro determinar con precisión el instante temporal y la duración del eco. Quizá por esta razón los murciélagos FC-FM producen un componente FM al final de la

señal de localización. Así pueden medir con más exactitud la distancia de la presa.

El tono del eco como responsabilidad superior

Los murciélagos de herradura han recurrido a otra posibilidad para resolver este problema. Aunque están tan agudamente sintonizados a su FC2 como los de la especie *Pteronotus partellii*, las resonancias vibratorias de potencial eléctrico de las células ciliares son claramente más breves, si es que se dan. Se desconoce cómo consiguen esta muestra de habilidad. Pero también los murciélagos de la especie *P. partellii* se hallan capacitados para compensar los fallos del oído interno. Durante la posterior transformación de las señales en el cerebro amortiguan apreciablemente las resonancias vibratorias de las respuestas neuronales y con ello precisan, en cuanto al tiempo, las informaciones.

En los últimos años se han descubierto especializaciones en el cerebro del murciélago únicas en todo el reino animal. Por ejemplo, amplias zonas de las regiones cerebrales procesadoras de los sonidos en los murciélagos de herradura, y en los *P. partellii*, se encargan exclusivamente de las frecuencias FC2. La corteza auditiva y el mesencéfalo, sobre todo, ceden un amplio espacio al posterior procesamiento de estos picos tonales. En dicho marco la corteza auditiva ya acapara en sí extensas regiones cerebrales que en otros mamíferos se encargan de los restantes sentidos, por ejemplo el del tacto. Gracias a estas adaptaciones, un número creciente de neuronas procesan en el cerebro el componente más importante de la ecolocación: el cerebro del murciélago hace de este dominio de frecuencias un asunto de la máxima responsabilidad.

La corteza auditiva de los quirópteros no sólo es mayor, sino que se halla, además, dividida en dos partes: procesan frecuencias e informaciones temporales a partir de los ecos en diferentes lugares. Los murciélagos, exactamente igual que otros mamíferos, reproducen en la corteza auditiva primaria las frecuencias de tono ordenadas por la altura. Ciertas neuronas son competentes en diferentes frecuencias, aunque hay grupos de células que también reaccionan ante similares alturas tonales. Pero el dominio de frecuencias FC2 ya se sirve, por sí solo, de aproximadamente la mitad de todas las neuronas. Posiblemente utilizan los animales este mapa de frecuencias para filtrar de los ecos de las hojas el batir de alas de los insectos e identificar así el rastro acústico de la presa.

Una región cerebral vecina se ha especializado por el contrario en procesar el tiempo. En ella las neuronas calculan el intervalo temporal entre el componente FM de un sonido emitido y el de un eco de retorno. Algunas de estas neuronas reaccionan en su caso a una determinada demora de uno a dieciocho milisegundos. Como el retraso temporal se corresponde con una determinada distancia del objeto, el mapa temporal le vale a los murciélagos simultáneamente como mapa espacial del ámbito de localización del eco.

La investigación de los quirópteros ha avanzado considerablemente desde la época de Lazzaro Spallanzani y Louis Jurine. En un futuro inmediato habrá que abordar el alcance de un descubrimiento recentísimo: la corteza auditiva modifica las fases expuestas del procesamiento de la señal acústica, determinando el propio contenido encerrado. Así puede ajustar siempre, y de manera óptima, la sensibilidad de frecuencias de las neuronas del mesencéfalo. Otros mamíferos utilizan también un retroacoplamiento neuronal de la corteza auditiva. Los depredadores nocturnos con ultrasonidos han llevado, posiblemente, este principio al extremo. Por lo pronto, ya sabemos por lo menos lo que pasa cuando veamos próximamente a un murciélago revoloteando alrededor de una farola: las polillas intentan escaparse de su perseguidor volando en zigzag o se agazapan en las hojas de un arbusto para fundirse acústicamente con el trasfondo. Y en el suelo los ratones tensan sus orejas para percibir el suave ruido de orientación de los cazadores susurrantes.

MANFRED KÖSSL es catedrático de neurobiología y mecanismos sensoriales en el Instituto Zoológico de la Universidad de Frankfurt del Main. MARIANNE VATER desempeña la cátedra de zoología general en el Instituto de Bioquímica y Biología de la Universidad de Potsdam.

Bibliografía complementaria

HEARING BY BATS. Dirigido por A. N. Popper y R. R. Fay. Springer Verlag, 1995.

THE BIOLOGY OF BATS. G. Nueweller. Oxford University Press, 2000.

THE CORTICOFUGAL SYSTEM FOR HEARING: RECENT PROGRESS. N. Suga, E. Gao, Y. Zhang, X. Ma, J. F. Olsen, en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 97, pág. 11.807 y ss.; 2000.

Control del pensamiento

Por lo que parece, diríase que los investigadores del cerebro están hoy en condiciones de manipular casi a su antojo nuestro órgano del pensamiento. Pero, ¿otorgan realmente un poder ilimitado sobre las personas los nuevos conocimientos sobre los procesos mentales y las emociones?

Henning Scheich

Los medicamentos pueden influir en el estado de salud de una persona o, incluso, de transformar su carácter. Gigantescos escáneres cerebrales observan los procesos mentales y los sentimientos, y parece como si nos miraran el alma. Hace poco un experimento realizado en la Universidad de Nueva York ha mostrado, de forma espectacular, cuán susceptible de manipulación resulta ser el cerebro; los investigadores implantaron electrodos en el centro de gratificación de una rata y, por ese medio, la teledirigían.

Al mismo tiempo se alzan voces que advierten de las consecuencias de la investigación cerebral para la sociedad. Son muchos los que temen que, al final, nuestro cerebro será del todo transparente, dejando al descubierto lo más íntimo de nosotros. Quizás un día se nos podrá manipular a voluntad con los nuevos métodos (sin que ni siquiera lo advirtamos). Entretanto, los críticos sitúan a las neurociencias en el mismo nivel que la ingeniería genética, con su rosario de organismos probeta, hombres biónicos e inminente catástrofe ecológica.

La comparación carece de base. Una intervención en el cerebro (sea por vía medicamentosa o quirúrgica) tiene siempre carácter terapéutico. Es decir, se pue-

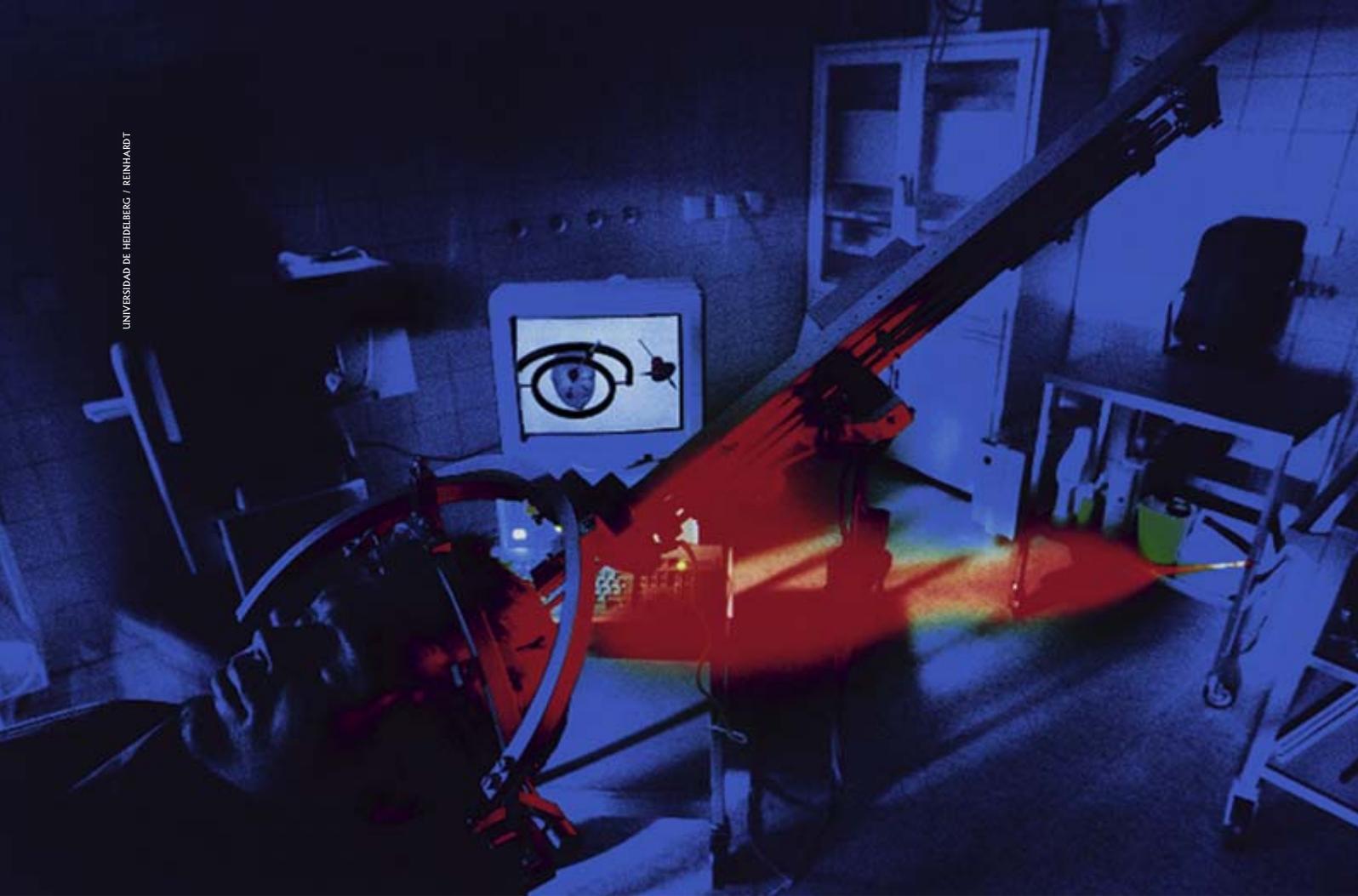
de examinar cada caso y se pueden sopesar los pros y los contras. Los tratamientos están sujetos a convenciones éticas vinculantes, como se establecieron en el Acta de Helsinki, y son supervisadas, en los Estados signatarios, por comisiones éticas locales. Para procedimientos nuevos, y por eso mismo arriesgados, prevén las comisiones permisos especiales propios de cada caso, en los que el propio paciente debe ser informado con todo detalle. Lo que no excluye que, como en cualquier otro campo de la medicina, puedan cometerse abusos.

En cambio, las alteraciones génicas repercuten en un número ilimitado de organismos. En particular si se actúa en las células de la línea germinal, cuya información hereditaria será transmitida a todas las generaciones futuras. En las plantas pueden incluso propagarse a la línea germinal de especies emparentadas.

Ahora bien, aun cuando los riesgos y las implicaciones éticas de la ingeniería genética sean muy distintos, no se pueden tomar a la ligera las precauciones y reservas ante la neurología. Desde hace unos 150 años médicos, biólogos y psicólogos investigan en personas y animales con el fin de comprender mejor la función de nuestro órgano del pensamiento. En nuestros días hemos llegado a un punto en el que está suficientemente

claro lo que sucede en los cerebros sanos y en los enfermos. En muchos casos sabemos qué función desempeña una determinada actividad de las neuronas de nuestro cerebro en la elaboración de la información, en los logros del pensamiento y en los sentimientos. Este conocimiento pone en nuestras manos, de forma creciente, instrumentos con los que podemos observar lo que pasa en el cerebro o, en el marco de una terapia, lo que puede ser efecto de unas alteraciones o trastornos. En este sentido, los pacientes de la neurología y de la psiquiatría están hoy cerca de beneficiarse de muchos avances de la investigación cerebral. Pero, por otra parte, disponemos también de capacidad de manipular e introducirnos en ámbitos que muchos consideran tabú.

En una larga tradición de la filosofía occidental y de las escuelas psicológicas se ha ido formando una especie de principio de indivisibilidad respecto de las funciones del cerebro. De acuerdo con esta visión, el flujo de información muestra una organización jerárquica, en cuyo seno la conciencia personal ocupa la última instancia. El atributo más relevante de la conciencia es el libre albedrío. Aunque ambos conceptos se han resistido, por ahora, a una definición convincente, con todo, por la experiencia de cada uno, está generalmente claro a qué



se refieren. Ambos fenómenos desempeñan una función destacada en el canon de los valores protegidos que forman parte del campo conceptual de la “dignidad del ser humano”. Si de una u otra manera se interviene en el cerebro, son muchos los que temen que, en última instancia, se modificará también su conciencia y su voluntad, con lo que se distancian de sí mismos como persona.

Otras son las reflexiones que nos guían hacia la observación del cerebro. La tomografía funcional de espín nuclear y otras técnicas modernas permiten ver desde fuera cómo trabajan varias regiones del cerebro. Es posible establecer si uno ve, oye, lee, cuenta o recuerda algo y si estos procesos son anómalos. Según la especialización de las áreas de distribución se pueden hacer enunciados más ceñidos: si se ve algo cromático, si se oye un sonido o si reacciona con emociones.

Pero se trata de métodos con capacidad limitada. Si alguien intenta especificar más la actividad cerebral, aparece entonces el famoso “problema inverso”: aunque un sujeto de experimentación en el tomógrafo se halle procesando informaciones muy distintas, su cerebro indicará, con frecuencia, patrones de acti-

1. OPERACION DEL FUTURO. Investigadores de Heidelberg desarrollan una sonda dirigida por láser para eliminar tumores profundos.

vidad similares. Por eso es casi imposible deducir, a partir de una imagen cerebral, ante qué tipo de información nos hallamos, y no digamos, ¡leer el pensamiento! Es una situación similar a la que se da ante el detector de mentiras: a partir de las gráficas del aparato no se puede deducir si alguien miente o si las preguntas le soliviantan por otros motivos.

A muchos les preocupan más los efectos de una manipulación de la persona, su conciencia y libertad de acción. Sin embargo, si se examinan los reparos mencionados, se ve que se mezclan preocupaciones justificadas con otras exageradas. Se debe, entre otras razones, a que nuestra visión del cerebro se basa en opiniones filosóficas y saberes biológicos del pasado. Así pues, antes de echar una ojeada a los riesgos reales y a los que sólo existen en nuestra imaginación, invito al lector a que me acompañe en un experimento mental.

Supongamos que usted sufre depresiones. ¿Qué preferiría: tomarse una pastilla que levante su ánimo o someterse, con el mismo fin, a una operación por la que se le implanta un electrodo en el

cerebro, que usted puede activar cuando lo necesite, para despejar su estado de ánimo? Una mayoría de las personas —aunque no sin reservas— optaría por el medicamento. Pero si nos detenemos en los resultados de la investigación cerebral, la elección ya no es tan obvia.

Aquí domina el orden

Aunque la corteza cerebral, sede de las funciones superiores (como el control de las acciones o la conciencia), parece homogénea en su estructura, en realidad está subdividida en muchas zonas distintas, localizables con precisión. Cada una de ellas cumple una tarea específica. Paul Broca y Carl Wernicke descubrieron, allá por la segunda mitad del siglo XIX, dos zonas cerebrales que son competentes en la expresión oral, es decir, en una función que trasciende las funciones algo más sencillas como ver, oír y desplazarse. La denominada, siguiendo a Broca, área de distribución es responsable de la expresión oral, el área de Wernicke lo es de la comprensión de la lengua hablada. Cuán detallado sea el reparto de las tareas queda de manifiesto en las lesiones; al dañarse

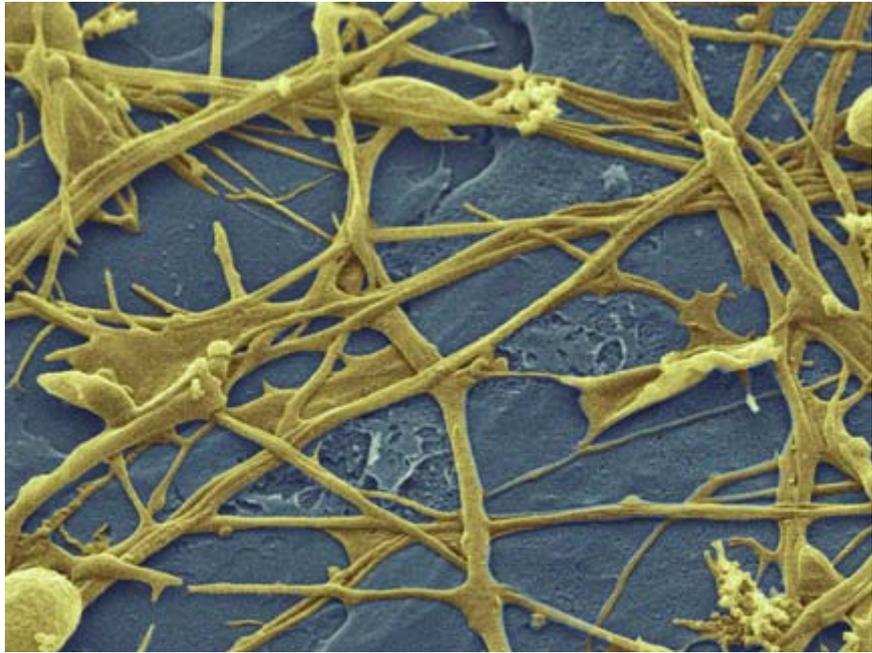
una de las áreas, se ven afectados siempre los mismos rendimientos cerebrales. Basta una desviación de escasos milímetros para que aparezcan síntomas totalmente distintos.

En principio, la asignación es casi unívoca: un área, una función. Si por un accidente se lesiona, la pérdida de la capacidad correspondiente es irreparable. Sin embargo, en ciertos casos, en especial en cerebros de niños, puede ocurrir que zonas contiguas del cerebro, originariamente especializadas en otras capacidades, asuman la tarea del área dañada.

Se dice que cada una de las células del cerebro se comunica, a través de al menos otras diez neuronas, con las demás. Este punto de vista puede que sea aproximadamente correcto, pero falsea la forma en que trabaja el cerebro. Pues el mensaje neuronal, la mayoría de las veces, alcanzará su lugar de destino sólo cuando sea transportado por muchas células nerviosas en paralelo por pistas potentes. Esta protección impide que una neurona, a través de innumerables senderos secundarios, inunde el cerebro con una información singular. Además, en los flujos de información, separados los unos de los otros, están insertados filtros por cuyo medio el cerebro elige con tino a qué estímulo dirige su atención. Sólo así puede defenderse del aluvión de impresiones que constantemente le llegan de fuera. Dado que las vías neuronales transportan informaciones selectivamente, en el caso de un trastorno local caen eventualmente también funciones cerebrales globales, por más conectadas que realmente estén todas las neuronas unas con otras. No obstante, a escala limitada se pueden desarrollar caminos secundarios libres para la elaboración de la información. En muchas estructuras las neuronas vecinas pueden compensar la pérdida de la mitad de todas las neuronas, sobre todo si se inicia a tiempo un entrenamiento. En este caso la función propia no se suspende, sino que simplemente se desajusta o se ralentiza.

El cerebro se protege con un escudo protector, la barrera hematoencefálica. Esta fina capa continua (de tan sólo una célula) recubre los vasos sanguíneos que abastecen el órgano. Si exceptuamos a determinados glúcidos y aminoácidos, sólo deja pasar de los vasos al tejido cerebral, en concentraciones dignas de mención, unas pocas sustancias. Así conserva el control sobre el conjunto de los neurotransmisores y otras moléculas de señalización.

Estas tres propiedades de nuestro cerebro (división local del trabajo con un



AG. FOCUS / SPL

control preciso de las vías de señalización, sustituidad limitada de las células nerviosas y barrera hematoencefálica) son de gran transcendencia ante cualquier forma de agresión.

Precisión milimétrica

De lo anterior se infiere que el diagnóstico de trastornos y las terapias correspondientes han de efectuarse con una mayor precisión topológica que la requerida en operaciones ordinarias y las realizadas en otros órganos. Y ello rige también para la ingesta de medicamentos. Si exceptuamos las infecciones, los trastornos circulatorios, la esclerosis múltiple y otras enfermedades que afectan al cerebro, no basta inundar todo el cerebro con una sustancia activa; podría ser incluso contraproducente. Que las células nerviosas asuman, en cierta medida, la misión de sus vecinas significa sólo que las pequeñas intromisiones con una débil destrucción del tejido celular no acarrear consecuencias apreciables (salvo en estructuras muy sensibles).

En este marco hemos de entender el potencial de las intervenciones en nuestro cerebro con fines terapéuticos. Por desgracia resulta muy difícil el acceso quirúrgico a la mayoría de sus estructuras, sea por su localización interna o por la protección de la caja craneana. Por eso recurren los cirujanos cada vez más a procedimientos "mínimamente invasivos", en los que abordan las zonas a intervenir con sondas sutiles y procedimientos teledirigidos. Con esta estereotaxia se pueden desactivar determinadas áreas, cuando no es posible tratar de otra forma

2. EL CONTACTO ES TODO.

Hoy los neurocirujanos pueden nutrir de informaciones a las redes neuronales del cerebro.

algún trastorno, como, por ejemplo, los dolores crónicos. En el futuro se recurrirá a la estereotaxia para tratar tumores y hemorragias. En casos de trastornos locales, como ciertas formas de epilepsia, los neurólogos pueden acotar exactamente, con las sondas, el foco infeccioso y extirpar, después, con precisión la parte de tejido afectada. Con fines diagnósticos se emplean sondas de microdiálisis, capacitadas para medir incluso las concentraciones locales de neurotransmisores (por ejemplo en los enfermos de Parkinson); con sondas de biopsia se extraen pequeñísimas muestras de tejidos para su análisis histológico (por ejemplo en los enfermos de Alzheimer).

Pero, con las sondas, no sólo podemos realizar diagnósticos, extraer muestras de tejido y medir la actividad de las células nerviosas. Podemos también valerlos de neuroprótesis para producir la estimulación eléctrica de neuronas que no funcionan adecuadamente. A través de ese mecanismo se les puede dotar de un flujo de información o bloquear una actividad excesiva. Se puede incluso orillar un déficit total, si se logra estimular la estación transformadora más próxima; con ese fin operan unas finísimas agujas de iridio-platino de menos de un milímetro, que apenas dejan señales de lesión, anatómicas o funcionales, en el tejido nervioso.

Bien toleradas por el tejido, incluso a largo plazo, las neuroprótesis pueden permanecer largo tiempo en el cerebro y bloquear con éxito el dolor e impedir, por ejemplo en los enfermos de Parkinson, los temblores y movimientos incontrolados. En cuanto fluye la corriente, desaparecen los síntomas (sin que se vea afectada la motricidad voluntaria). Y viceversa, un electrodo en la médula espinal puede, en una condición parapléjica, activar la evacuación de la vejiga; se espera que en un futuro próximo se logre la motricidad de las extremidades.

El mayor éxito, por ahora, de estas neuroprótesis es la superación de la sordera del oído interno, al transmitir sonidos, con ayuda de muchos electrodos paralelos, directamente al nervio auditivo. Por último, se puede evitar también la inundación, antes mencionada, de todo el cerebro con medicamentos y otras sustancias activas por medio de una operación que consiste en implantar sondas que, por largo tiempo, transfieran sustancias activas a las células que quedan cerca de las sondas. Y ésta es la ventaja: el medicamento actúa en su propio lugar de destino. Si se tiene presente que una misma sustancia puede actuar en las células de todo el cerebro, es evidente que este procedimiento local

reduce drásticamente los efectos colaterales.

Así pues, “manipular” el cerebro, tal como lo sienten muchos, puede resultar algo más respetuoso que el “mazazo químico”. Sin embargo, ¿no debemos sentir reparo a la manipulación, dado que nuestras posibilidades de intervenir serán cada vez más precisas y eficaces?

Sensación artificial

Si seguimos analizando los resultados de la ciencia, nos topamos con un par de comprobaciones: una tranquiliza, la otra promueve inquietud. Numerosas intervenciones han mostrado que apenas podemos influir en la conciencia sin que lo advertamos. Desde 1954, Wilder Penfield, en intervenciones de epilépticos, empezó a estimular rutinariamente la corteza cerebral motora, auditiva, verbal y visual. Dado que esta estimulación indolora se ha seguido practicando hasta nuestros días en el diagnóstico de pacientes despiertos, disponemos de relatos de cuál es la repercusión que tal estimulación tiene en la conciencia. Las estimulaciones provocan reacciones motoras o fenómenos sensoriales que los pacientes perciben como “artificiales”. En las alucinaciones esquizofrénicas, por contra, el afectado no es capaz de distinguir

entre éstas y la realidad. Parece, pues, que en el caso de las estimulaciones no se anula la capacidad de crítica.

Otras estimulaciones en estructuras profundas del cerebro, como las que se practican con enfermos de Parkinson o en estados dolorosos, han mostrado análogos resultados tranquilizadores. De tales experimentos, y muchos más, se extraen, en una primera aproximación, varias consecuencias. Por estimular eléctricamente el cerebro, introducir localmente fármacos o implantar células, no se deberían producir efectos secundarios que alteraran la conciencia, la personalidad o la capacidad radical de decidir. Esto es válido para las intervenciones en los nervios craneales, tronco encefálico, cerebelo, mesencéfalo, diencefalo, ganglios basales y en muchas áreas de la corteza.

En no pocos casos, sin embargo, se requieren un esfuerzo activo y un proceso de aprendizaje adecuado con un entrenamiento amplio antes que los pacientes puedan sacar provecho de una neuroprótesis. Sucede así en los injertos del nervio auditivo y del núcleo auditivo en el tronco encefálico: los pacientes necesitan meses para poder coordinar con fiabilidad la lengua y las otras señales acústicas a las sensaciones desacomodadas que les prestan sus oídos artificiales. Por otra parte, los pacientes agradecen mucho si se les corrige por electroestimulación una disfunción inso-

3. LUZ QUIMICA. Medicinas como el ritalin o el prozac (en la figura) hacen de nosotros otros hombres, pero, ¿a qué precio?



portable, por ejemplo un estado doloroso o unos movimientos incontrolables. Se acepta una información foránea cuando tiene sentido para el afectado. Por eso se desarrollan hoy prótesis cuyo efecto pueden regular los propios pacientes o incluso desactivarlo.

Completamente distinta es la situación cuando las intervenciones afectan a una serie de estructuras interrelacionadas que, en su mayoría, residen en la cara interna de los hemisferios cerebrales; por ejemplo, el sistema límbico o las estructuras, asociadas al mismo, del “sistema de gratificación” que produce el propio cuerpo. Este sistema cuida de que nos sintamos bien en un comportamiento satisfactorio y sigamos adelante con una estrategia elegida. Aquí, en el hipotálamo y en la corteza orbital y prefrontal por encima de la órbita ocular, puede una estimulación eléctrica producir una modificación de las emociones, de la volición y del discernimiento. Desde hace tiempo, se sabe que las ratas se vuelven ávidas en un abrir y cerrar de ojos, si pueden estimularse ellas mismas en su sistema de gratificación presionando una palanca sobre un electrodo. Se estimulan sin cesar a sí mismas, olvidándose de comer y beber, y llegan a superar enormes obstáculos para alcanzar la estimulación. En este sentido, el famoso trabajo de un equipo de la Universidad de Nueva York no constituyó ningún motivo de asombro; sabido es que, por medio de esta estimulación, dirigían a unas ratas, casi esclavizadas, a través de un laberinto.

El señor de la casa

Los investigadores norteamericanos se limitaron a llevar al extremo un mecanismo conocido. El meollo estaba ya en otros experimentos anteriores. Puesto que la obsesiva autoestimulación de las ratas muestra cierta semejanza con las características psicológicas y modos de comportamiento de las adicciones patológicas humanas, se puede predecir con bastante seguridad que un experimento diseñado de forma parecida daría en el hombre resultados análogos. Por eso los estudiosos que participan en el control teledirigido de las ratas han señalado, con justicia, que sería inmoral repetir su experimento tal cual en las personas.

Con ello no se minusvalora la experimentación animal. En primer lugar, estos y otros intentos semejantes arrojan luz sobre el debate en torno a qué estimulaciones cerebrales son aceptables y cuáles no. Sin estos conocimientos nos faltaría una orientación. Ya no parece tan amenazante o absurdo el “rabort” (acróni-

mo de rata robot). En pura hipótesis, con estos modelos con animales podríamos identificar estructuras que desempeñan un influjo inhibitorio en la actividad sobreexcitada del sistema de gratificación.

Presupuesto siempre el veredicto de una comisión ética y la decisión voluntaria de los pacientes, se podría intentar, por ejemplo, tratar la drogodependencia autodestructiva mitigando los circuitos neuronales generadores de adicción. Un paciente podría, pues, decidir por sí mismo en qué situación se estimula. Posiblemente un tratamiento temporal le libere de su problema y, en último término, siempre se puede extraer el electrodo. En los casos en que los pacientes se encaminan irremediabilmente a una ruina segura tanto corporal como psíquica, los terapeutas deberían reflexionar sobre la posibilidad de intervenir incluso en las zonas cerebrales críticas.

Quizá la discusión en torno a la manipulación de nuestra voluntad es también baladí. Así exponen, con satisfacción, sus resultados algunos neurocientíficos. A finales de los años setenta, Benjamin Libet mostró, con un experimento memorable, que la señal de salida neuronal de mover un dedo se da alrededor de medio segundo antes de que seamos conscientes de haberla tomado. Muchos investigadores lo interpretan en el sentido de que no podemos tomar ninguna decisión libre. En última instancia — así argumentan — dependeríamos exclusivamente de procesos biológicos de nuestro cerebro y, por tanto, de leyes de la naturaleza. Sin embargo, quiero volver a dejar bien claro aquí que el experimento de Libet no se puede tomar como una prueba de un determinismo biológico. Pues la decisión genérica de mover el dedo la ha tomado la persona ya antes de intentarlo; se trató sólo del “¡ahora!”.

Es cierto que muchos conocimientos y formas de comportamiento se inician en la zona subcortical y, por tanto, son inconscientes. Sin embargo, tales proyectos pueden, por lo general, ser aceptados o rechazados después por las zonas de la corteza cerebral tras aducir motivos en pro y en contra. Puesto que la aceptación de estos motivos está sujeta a normas sociales, no habría que poner en duda la responsabilidad de un individuo.

HENNING SCHEICH es director del Instituto Leibniz de neurología de Magdeburg. Se dedica preferentemente a la acústica, al aprendizaje y al lenguaje.

La búsqueda de la felicidad

Todos aspiramos a la felicidad, pero a nuestras buenas intenciones se opone una amarga realidad: somos los primeros obstáculos en ese camino. ¿Cómo cambiar esa situación?

La psicología trata de indagar en las leyes de la sensación de felicidad en el hombre

Uwe Hartmann, Udo Schneider
y Hinderk M. Emrich

“Sólo las malas noticias son noticia”, reza una desafortunada norma de la prensa sensacionalista. ¿También de la investigación en psicología de los sentimientos? Tal parece si hojeamos manuales y revistas especializadas de la materia. Los psicólogos no cesan de investigar traumas, estrés, miedos y depresiones. Difícilmente mencionan la felicidad, la alegría y otros sentimientos agradables. Pero algo va cambiando. El estudio sobre la felicidad empieza a despertar de su letargo. En los Estados Unidos, sobre todo, ha ido adquiriendo una importancia creciente la psicología positiva, llamada por otro nombre investigación del bienestar. Esta rama de la ciencia se ocupa del sentido y el origen de la satisfacción, la esperanza, el optimismo, la alegría, la felicidad y demás sentimientos agradables.

Todo el mundo se ha planteado alguna vez cuestiones sobre la felicidad, del tenor siguiente: ¿cómo puedo alcanzarla?, ¿existe una felicidad duradera? y similares. La psicología positiva puede dar al menos algunas respuestas a estos interrogantes; el principal resultado obtenido ya es que los sentimientos de felicidad no son eternos, pero nosotros mismos podemos contribuir a que vuelvan a aflorar siempre de nuevo.

Sin embargo, parece que estos conocimientos no se han extendido todavía suficientemente. Según algunos sondeos, la mayoría de la gente cree que el individuo no puede, por regla general, elaborar su propia felicidad. La respuesta más común de los encuestados era coinci-

dente: los sentimientos de felicidad no se pueden provocar de intento, puesto que son en primera línea un don fugaz del azar, una casualidad favorable. Emerge así una diferencia importante, por ejemplo, con la apreciación de la propia calidad de vida, que se ve como bastante gobernable. La realidad es que aparentemente los estados de felicidad se presentan muchas veces sin un esfuerzo consciente por nuestra parte, para luego desvanecerse.

La felicidad, medicina contra el infarto cardíaco

Movidos por esa experiencia, muchos subestiman la importancia de las sensaciones de felicidad para la supervivencia y para triunfar en los conflictos con el entorno. La doctrina dominante en la academia mantiene que las emociones arrancan generalmente de alteraciones externas y ayudan funcionalmente al organismo a adaptarse mejor a una determinada situación y a reaccionar ante ella. Lo anterior afecta sobre todo a sentimientos negativos, como el miedo o el enfado, pues sabido es que el hombre reacciona emocionalmente con más intensidad ante los cambios a peor que a mejor. No es extraño, por tanto, que se tenga que actuar sobre todo cuando las condiciones vitales empeoran.

Pero esto no significa en absoluto que necesitemos sólo emociones negativas para seguir adelante en la vida. Algunas teorías modernas sobre la emoción parten de la importancia de ciertas funciones de la alegría o del buen humor, por ejemplo, para calmar y tranquilizar nuestro ánimo. Hay resultados de investigaciones biológicas que apoyan esta suposición. A diferencia, pongamos por caso,

de la agresión y el estrés, los sentimientos de felicidad apenas excitan el sistema nervioso vegetativo, es decir, la parte del sistema nervioso que regula procesos inconscientes como la respiración, la digestión o las funciones sexuales del organismo. Muy por el contrario, las emociones positivas contribuyen a nuestro equilibrio y sitúan al organismo en un “estado de ahorro energético”. Cuando los sentimientos negativos perduran mucho tiempo, nos agotan y perjudican al organismo. Ahí precisamente radica el sentido más profundo de los banquetes funerarios animados con bebidas alcohólicas después de los entierros, como se celebran en algunos ámbitos culturales. Ayudan a los afectados por el duelo a recuperar un estado emocional normal.

Las emociones positivas nos mantienen anímicamente estables y nos previenen también de perturbaciones psíquicas. En este contexto, el concepto de “salutogénesis”, avanzado por Aaron Antonovsky, indica que la terapia debe, ante todo, fortalecer los elementos sanos del paciente, en vez de limitarse a combatir la enfermedad. Lo que, transferido al mundo de las dolencias psíquicas, significa fomentar exponencialmente los sentimientos positivos y no sólo reprimir las sensaciones negativas o patológicas.

Demos un ejemplo. La sensación de bienestar en la comida o en las relaciones sexuales favorece que no descuidemos estos comportamientos tan importantes para nuestra propia supervivencia y la de nuestra especie. Es posible que la felicidad valga también como remedio a la apatía humana y a los sentimientos de desgana: “Si no existen problemas urgentes, lo podríamos dejar todo tal como está.” Pero cuando nos esforzamos en



DPA

alcanzar metas más altas y en conocer nuevas experiencias, el éxito nos puede compensar con sensaciones de felicidad. La esperanza de vuelos de altura emocionantes podría contribuir a una cualidad típicamente humana, la de no contentarse nunca con lo ya conseguido, sino intentar reiteradamente mejorar la situación personal y seguir desarrollándose.

También se aprovecha positivamente de impulsos emocionales positivos nuestro comportamiento social. Cuando observamos determinadas sensaciones en una persona feliz, la encontramos por regla general y de manera inconsciente más atractiva. Esta circunstancia no sólo fomenta las relaciones amistosas y los contactos dentro de un grupo. ¡Cuántas convivencias y relaciones amorosas no comenzaron con una sonrisa!

La alegría y otros sentimientos positivos influyen incluso en la salud. Ya hay

1. GRITOS DE JUBILO. La felicidad no se manifiesta siempre con un desbordamiento total de los sentimientos como en el caso del actor Roberto Begnini al recibir el óscar.

demostraciones contundentes de que la antigua máxima de “reír es sano” es algo más que una frase hecha: está comprobado que la risa y el buen humor elevan el número de ciertos componentes del sistema inmunitario, las llamadas células asesinas. Los sentimientos positivos pueden favorecer el estado general de salud y el proceso de curación de enfermedades. El cardiólogo Dean Ornish propugna la euforia incluso como medio de prevención y de curación de cardiopatías.

A los investigadores les gustaría saber al menos por qué el hombre ha desarrollado sentimientos de felicidad y cuál es su función, pero esto no basta ni de lejos para entender el carácter de dicha emoción. En el marco de esa línea de tra-

bajo, se ocupan de las siguientes cuestiones:

- ¿Hay diferentes tipos de sentimientos de felicidad?
- ¿Implican siempre pleno bienestar?
- ¿Por qué unas personas son más felices que otras?
- Y no en último término: ¿No es felicidad simplemente otra denominación de alegría? La psicología se halla ya en condiciones de dar una respuesta negativa a la última cuestión. La alegría se numera entre las emociones primarias o básicas del hombre, mientras que la felicidad constituye una mezcla de sentimientos. Por eso los sentimientos de felicidad no son siempre una vivencia nítidamente positiva.

Si bien la sensación de felicidad acostumbra acompañarse de sentimientos agradables, puede también aflorar en medio del dolor; lo observamos, por ejemplo, en las mujeres inmediatamente después de dar a luz. Cabe incluso la aparición de sentimientos fugaces de felicidad dentro de la aflicción espiritual; así, cuando una persona toma un nuevo camino en una situación conflictiva, verbigracia, en una crisis matrimonial sin horizonte de solución. Pero también es posible sentirse profundamente infeliz en unas circunstancias de por sí alegres; por ejemplo, el momento de abandonar la casa paterna después de la boda.

¿Da el dinero la felicidad?

Los sentimientos de felicidad se manifiestan, a su vez, de las formas más diversas. Los arrebatos sentimentales que siguen a la obtención de un premio en un concurso no tienen mucho que ver con las sensaciones tranquilas que sobrevienen tras una dura jornada laboral, sentado con un vaso de vino en la mano y oyendo la música de nuestro compositor preferido. En el primer caso se desborda agitadamente y a borbotones gran

cantidad de energía y de actividad, mientras que en la segunda situación uno está distendidamente concentrado en la propia persona.

Con todo, algunas expresiones vivenciales de la felicidad comparten rasgos. Las personas felices son receptivas a los sentimientos y se abren a las impresiones de cuanto les rodea. Se permeabiliza la frontera, a primera vista impenetrable, entre el propio yo y el mundo exterior. Surgen sensaciones de aproximación o incluso de unidad con el entorno. Esta vinculación espiritual con el mundo puede tener también matices sensuales o eróticos: no olvidemos que la sexualidad y la erótica prometen especiales vivencias de felicidad.

Pero, ¿qué es lo que caracteriza a la gente feliz? Steven Reiss, de la Universidad estatal de Ohio, descubrió en sus sondeos de opinión que no se trata de alcanzar sentimientos de felicidad lo más intensos posibles. Más bien parece considerarse especialmente feliz la gente que las más de las veces se siente bien consigo misma y que sólo en raras ocasiones experimentan sensaciones desagradables. Por el contrario, nos encon-

tramos casos de gente por lo general infeliz entre las personas que buscan continuamente el éxtasis supremo. De todas formas, apenas se puede cambiar voluntariamente esta actitud emocional básica, por la sencilla razón de que se halla enraizada en la estructura de la personalidad.

Al abordar las características de las personas felices, resulta muy difícil, si no imposible, distinguir, en la mayoría de los casos, la causa del efecto. Por eso se prefiere hablar de “correlatos de la felicidad”. Las siguientes tipologías son especialmente prometedoras:

- prosperidad material y rango social,
- relaciones sociales estables y relación de pareja sólida,
- religiosidad o aceptación de distintas cosmovisiones.

Una variante de felicidad que ha polarizado los debates tiene que ver con su vinculación con la prosperidad. Aunque “el dinero no haga la felicidad”, la comparación de resultados internacionales de encuestas de opinión contradice, en una primera aproximación, esta frase hecha. La gente de los países ricos es, por término medio, más feliz que los habitantes de los estados pobres. Una regla general que puede aplicarse al individuo. Una situación financiera desahogada suele ir pareja con un cierto bienestar subjetivo. En todo caso, analizando más de cerca los resultados de estas encuestas, tropezamos con contradicciones desconcertantes. Así por ejemplo, los habitantes de algunos países pobres se sienten más felices de lo que se podría esperar de su nivel de renta. Es el caso de Brasil, sin tener en cuenta, por cierto, la conquista del campeonato del mundo de fútbol. Por otro lado, tampoco son tan felices los ciudadanos de muchos países ricos, entre ellos Alemania.

En cualquier caso con el dinero no aumenta el bienestar ilimitadamente. Una vez conseguido cierto nivel de prosperidad, el saldo creciente de la cuenta bancaria no hace que uno se sienta cada vez más feliz. De ahí que los habitantes de los países ricos no se sientan más felices en la misma proporción al enorme aumento de prosperidad registrado en los últimos cincuenta o sesenta años. Las encuestas del Instituto Allensbach de demoscopia indican que los alemanes

2. PREGUNTAS POR EL SENTIDO.

David. G. Myers, experto en psicología social, opina que la religiosidad ayuda al hombre en la convicción de que su vida tiene un sentido.



D. G. MYERS

alcanzaron ya el punto crítico de suficiente prosperidad lo más tarde a principios del año 1960. Desde entonces se mantiene más o menos constante el porcentaje de sus ciudadanos felices.

La explicación es que los seres humanos se acostumbran pronto a un determinado bienestar y a un estatus social, en consonancia con el cual elevan al mismo tiempo sus pretensiones. Pero

entonces vuelve a reaparecer la misma distancia entre el nivel de las pretensiones y la realidad; por tanto, la sensación de felicidad, después de reavivarse brevemente, queda reducida a la antigua

Química de la felicidad

Con independencia de que las percepciones sensoriales, los modos de comportamiento y los estupefacientes nos transmitan sentimientos de felicidad, nada funciona en nuestro cerebro sin los sistemas de recompensa, cuya existencia descubrieron en 1954 James Olds y Peter Milner. Estos neurólogos norteamericanos implantaron en el cerebro de ratas microelectrodos, que les indujeron una estimulación eléctrica. Los animales encontraban la estimulación tan agradable, que se apostaban en los lugares donde se activaban. Incluso aprendieron a apretar una palanca para autodispensarse dichos estímulos.

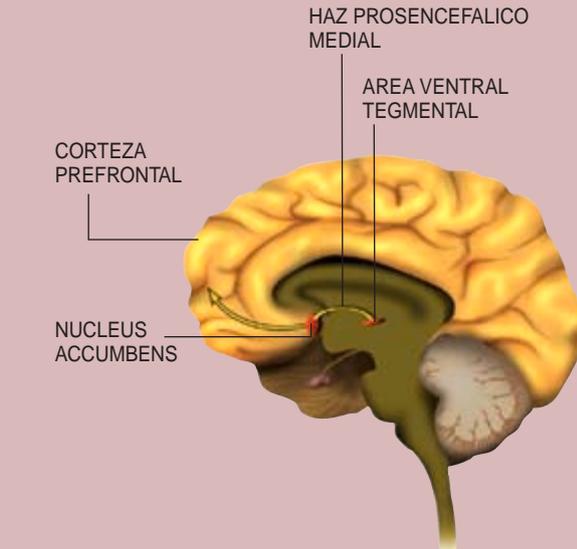
Parecía como si esa estimulación activara un sistema de recompensa o de placer. Más tarde se comprobó que ese sistema existía también en el hombre. Consta esencialmente de tres elementos (véase la figura).

- el *nucleus accumbens*, una parte del sistema límbico responsable de las emociones,
- el área ventral tegmental del mesencéfalo, y
- la región prefrontal de la corteza cerebral.

En todo este sistema, el *nucleus accumbens* desempeña un papel clave: se podría decir que es el conmutador central del sistema de recompensa. Tiene neuronas que utilizan el neurotransmisor dopamina para enviar señales. Esta sustancia se encarga preferentemente de perseguir reiteradamente situaciones que provocan sensaciones de felicidad. La dopamina representa, pues, una especie de interruptor químico general del apetito y un elemento importante en el origen de la adicción: las drogas como la cocaína liberan con creces este neurotransmisor en el sistema de recompensa.

El sistema de la dopamina cuenta con el apoyo de otros dos tipos de neurotransmisores: los opioides y los cannabinoides, generados por el propio organismo. Lo mismo las drogas opiáceas (opio y morfina, por ejemplo) que los opioides endógenos (pensemos en la endorfina) se enlazan, en el *nucleus accumbens*, con los receptores de opiáceos. En la corteza cerebral los opioides transmiten sentimientos de placer que pueden llegar hasta el delirio. Algunas investigaciones con practicantes de saltos en el vacío arrojaron el resultado de que los sentimientos de placer durante y después del lanzamiento coinciden con una subida del doscientos por ciento de la beta-endorfina. También algunos estupefacientes como la cocaína influyen en los opioides endógenos. Las drogas, mediante la liberación suplementaria de dopamina, llevan en una segunda fase a suministrar más endorfinas al sistema de recompensa.

El sistema cannabinoide endógeno se descubrió hace escasos años. Los cannabinoides son las sustancias activas en el hachís y la marihuana. Se acoplan a moléculas receptoras específicas e intensifican la liberación de dopamina dentro del sistema de recompensa. Al igual que los receptores de opiáceos, los receptores de cannabinoides se unen también con las sustancias endógenas. Aquí son las anandamidas o ácidos grasos insaturados liberados por las neuronas desde



THOMAS BRAUN

las membranas celulares. Giovanni Marsicano y Beat Luz, del Instituto Max Planck de Psiquiatría de Munich, han descubierto que estas sustancias desempeñan un papel determinante en el proceso de olvido de experiencias traumáticas, al menos en las ratas. Sin embargo, todavía se conoce muy poco sobre el modo de interconexión, en el sistema nervioso central, de los diferentes sistemas de neurotransmisores productores de los sentimientos de felicidad.

Pero hay algo evidente: los estupefacientes utilizan y aprovechan las estructuras cerebrales y los neurotransmisores que presuntamente nos ayudan a triunfar en los conflictos con nuestro entorno. Además, otras formas de la adicción, como la ludopatía o la dependencia de la televisión, pasan probablemente por el sistema endógeno de recompensa. La escucha de música apreciada como agradable activa también estos circuitos.

¿Es que somos adictos a nuestra música preferida? La discusión sobre las diferentes adicciones gira preferentemente en torno a la habituación y a los fenómenos relacionados con la desintoxicación. El consumo de drogas químicas proporciona un sentimiento de felicidad de corta duración. Apenas disminuye el efecto de la sustancia el estado de ánimo se hunde rápidamente: los consumidores se sienten entonces deprimidos o incluso tristes, lo que exige volver a drogarse. Cuando se abusa de las drogas durante muchos años, se insensibilizan los circuitos neuronales del sistema de recompensa hasta el punto de que ni siquiera unas dosis muy elevadas pueden producir sensaciones de euforia. En ese caso para lo único que vale el consumo de drogas es para evitar los correspondientes graves síntomas corporales de la deshabituación. Pero seguro que este peligro no se presenta en el caso de la audición de música.

escala. Se trata del fenómeno de la noria rutinaria hedonista, que no se limita en modo alguno sólo al dios Mammon. La norma general reza que la felicidad es relativa y que uno más bien se siente feliz cuando le va mejor que antes.

El efecto “teuro”

Además de lo expuesto, los investigadores de la felicidad descubrieron otra zapata de freno emocional: las vivencias agradables nos alegran comparativamente menos que lo que nos fastidian o afligen las malas noticias. Un ejemplo apropiado de la actualidad es la discusión en Alemania sobre el “teuro”. (El neologismo popular alemán se basa en la similitud fonética entre el término “euro” — pronunciado en alemán ‘oiro’ — y el adjetivo “teuer” — pronunciado “toiar”, que significa “caro” — para extender en la opinión pública la idea de que el euro ha supuesto un encarecimiento generalizado de la vida.) Mucha gente se escandaliza con la subida de precios tras la unificación de la moneda en la Unión Europea, al tiempo que no perciben claramente o incluso olvidan algunas bajadas en el importe de ciertos productos.

Los psicólogos aseguran que para la felicidad personal importan las relaciones sociales más que el dinero. La mayoría de la gente se siente feliz cuando está socialmente bien integrada. Una buena relación de pareja es el mejor motor del bienestar. Unos vínculos intactos y resistentes parece incluso que potencian la salud, con lo que también se eleva el bienestar psíquico. Hay que reseñar que tampoco aquí se diferencian claramente la causa y el efecto. ¿Es que una buena relación de pareja hace a la gente más feliz? ¿O bien es el más feliz de los dos el responsable de dicha buena relación? Posiblemente ambas cosas.

Ultimamente los investigadores del bienestar han venido prestando una creciente atención a la religiosidad, ya que según las encuestas las personas felices son por lo común abiertamente religiosas. Aquí se plantea de nuevo el tema del huevo y la gallina. Los escépticos podrían objetar que la tendencia a sustituir la realidad por ficción podría hacer a algunos por igual felices y religiosos. David G. Myers, del College Hope en Michigan, sostiene por contra la tesis de que la religiosidad satisface quizá la necesidad básica más profunda del hombre: la con-

vicción del significado importante de la propia existencia y de que su vida tiene sentido.

Steven Reiss llega también a una conclusión similar. Con carácter general distingue dos tipos de felicidad:

- la felicidad de las buenas sensaciones es el conjunto de sensaciones placenteras que dependen de estímulos externos, trátase de un premio de la lotería, aventuras sexuales o sensaciones extraordinarias inducidas por drogas;
- la felicidad fundada en valores es la que experimentamos cuando creemos que nuestra existencia tiene importancia y está integrada en unos fines de mayores alcances.

La felicidad de las sensaciones placenteras no es muy estable. Y lo malo es que los estímulos producen cada vez menos efectos si se repiten con frecuencia. Aquellos que buscan constante y exclusivamente esa felicidad sensorial llegan con el paso del tiempo al esperado éxtasis placentero con creciente dificultad. Operan aquí los procesos de habituación, que también desempeñan un papel fatal en los fenómenos de adicción. Por el contrario, la felicidad que se funda en valores interiores es sólida y no dismi-

¿Libertad o igualdad?

Las causas de la felicidad humana son también una cuestión social. Sabiendo lo que más potencia la felicidad del individuo, podremos esforzarnos por mejorar el estado de satisfacción de la población con medidas generales de orden político. Por esta razón el Instituto de Allensbach lleva a cabo investigaciones sobre la felicidad y explora demoscópicamente las características de las personas satisfechas con sus vidas y qué actitudes vitales y comportamientos contribuyen al bienestar subjetivo. En el curso de estos trabajos hubo una cuestión cardinal que centró la atención: ¿Qué importa más en una sociedad democrática, la libertad o la igualdad?

Los primeros interrogantes sobre la felicidad aparecieron ya en los cuestionarios del Instituto de los años cincuenta. Y desde hace treinta años esta institución investiga intensamente tanto el tema de la felicidad como la posición de los alemanes frente a valores fundamentales como libertad e igualdad. Todos los resultados reunidos desde entonces documentan que la libertad y la igualdad guardan una relación directa entre sí.

Algo por ejemplo sobresaliente era la especial sensación de felicidad cuando uno puede tomar decisiones importantes en el puesto de trabajo. Por el contrario, las personas que carecen de esa libertad de decisión tienden a considerarse infelices. Fenómeno que se repite en todos los grupos profesionales y capas sociales, lo mismo entre autónomos que entre trabajadores no cualificados.

En un estudio reciente del Instituto Allensbach, que abarcaba varios países, se mostraba que las personas que se sien-

ten libres en la configuración de sus vidas son más felices y están más contentas que otras. Esta relación entre libertad y felicidad es patente no sólo en Alemania, sino también en Francia y en Gran Bretaña; no puede reducirse exclusivamente a otras características de las personas encuestadas: edad, formación o clase social.

Estos resultados coinciden con los de las investigaciones del psicólogo estadounidense Mihaly Csikszentmihalyi, que desde hace treinta años estudia las condiciones de una vida feliz. En su opinión se alcanza la satisfacción vital cuando uno acepta y supera los retos, actúa convencido de las propias fuerzas y toma por sí mismo las decisiones. Todo esto hace crecer las fuerzas y la confianza en sí mismo, y consecuentemente, la satisfacción y la felicidad. Pero el supuesto previo es siempre la libertad de acción y decisión.

Nuestras encuestas no pudieron constatar por contra la correspondiente relación entre *igualdad* y felicidad. Podría, pues, ser falsa la idea de que ante todo la prosperidad, la consolidación social, la libertad y el consumo hacen a los hombres más felices. Los políticos y los sociólogos hablan hoy día no tanto de libertad como de justicia social. Pero a fin de cuentas, ¿no debería la política en el sistema democrático fomentar también la felicidad de la gente? Para conseguir esto, los políticos deberían tomarse a pecho una regla: Si se trata de decidir entre igualdad y libertad, ¡siempre ha de prevalecer la libertad!

Elisabeth Noelle-Neumann



3. INCONCEBIBLE.

Según Helene Deutsch (1884-1982), psicoanalista norteamericana de origen austriaco, la aspiración a la felicidad tiene su punto de arranque en una creciente insatisfacción.

ción sigue siendo algo misterioso que nosotros no podemos componer mediante un juego psicológico de construcciones. Por ejemplo: las sensaciones desbordantes al reencontrar a un pariente que se creía perdido hacía tiempo; o el sentimiento de felicidad indescriptible de una persona locamente enamorada cuando se percata de que su amor es correspondido. Estos terremotos emocionales se sustraen en gran parte al estudio de los investigadores de la felicidad, por la sencilla razón de que son difícilmente reproducibles. Es decir, la felicidad es al fin y al cabo un estado reservado aparentemente a momentos muy especiales de la vida y que se presenta cuando menos la esperamos o la añoramos.

Esta inasibilidad de la felicidad fascinó a Helene Deutsch (1884-1982). Según esta psicoanalista norteamericana de origen austriaco y discípula de Freud, el sentimiento de felicidad presupone una armonía de la personalidad entera, una conjunción armónica de todos los componentes del propio yo, que lleva a un sentimiento de unidad no obstaculizado por ninguna influencia interna ni externa. Con esta definición anticipó en parte el concepto de fluencia, medio siglo antes de que lo formulara Csikszentmihalyi.

En opinión de Deutsch, el ansia de felicidad emana siempre de una insatisfacción. La plena felicidad llevaría consecuentemente a la paralización; si uno ya es feliz, ¿por qué cambiar las cosas? Por eso mucha gente experimenta una inmensa felicidad tras una fase de desgracia, estrés o sufrimiento anímico. Evidentemente ser feliz es siempre una experiencia de contrastes y se corresponde con las subidas y bajadas de la vida misma. La verdadera felicidad describe el proceso desde su origen, más que el estado de esa especial unidad entre el individuo y el mundo. El camino a la felicidad ya es en sí la meta.

Esta característica de la felicidad aflora de modo especial en la sexualidad humana. La aspiración humana a la felicidad se refleja como fotos con cámara rápida en el ciclo del apetito sexual a lo largo de las fases de deseo, excitación, orgasmo y saciedad. La felicidad sexual se agota en cuanto sobreviene. A los filósofos no les deja de preocupar que la

máxima satisfacción coincida con su final y dé lugar al vacío, la saturación o la apatía, hasta que retorna la pulsión de satisfacción.

Es posible que la estricta reglamentación social de la sexualidad a lo largo de la historia de la humanidad no fuera sólo la obra de moralistas fanáticos. ¿No cabe la posibilidad de que esa reglamentación sea la que nos proporcione una verdadera felicidad sexual? Pascal Bruckner constata hoy en día una auténtica obligación, una necesidad de dicha, que afecta de manera muy especial a la sexualidad. Frente a esta realidad, él considera posible la felicidad sólo episódicamente y limitada en el tiempo.

Expresión facial de la felicidad

Aunque no sea un verdadero consuelo para los afectados parece que no se pueden evitar los períodos de infelicidad. Quien tenga que soportar una de estas fases durante mucho tiempo debería estudiar de cerca los resultados de encuestas psicológicas hechas a individuos con distintos tipos de felicidad. Según sus propias informaciones, las fuentes más importantes de la felicidad se resumen en evitar el estrés y buscar alternativas a las ocupaciones del día a día. Pero si todo esto no es suficiente, basta con un truco sencillo: mostrar conscientemente una expresión facial feliz irradiante de alegría. Y ya que la gesticulación puede repercutir en la gestación de emociones en nuestro cerebro, una expresión facial determinada puede elevar a menudo el estado de ánimo, sin recurrir a las drogas o a costosos programas de autoanálisis.

UWE HARTMANN, UDO SCHNEIDER y HINDERK M. EMRICH son catedráticos del departamento de psiquiatría clínica y psicoterapia en la Facultad de Medicina de Hannover.

Bibliografía complementaria

FLUENCIA. DAS GEHEIMNIS DES GLÜCKS. (8ª edic.). M. Csikszentmihalyi. Klett-Cotta; Stuttgart, 1999.

EMOTIONSPSYCHOLOGIE. Dirigido por J. H. Otto, H. A. Euler y H. Mandl. Beltz; Weinheim, 2000.

VERDAMMT ZUM GLÜCK - DER FLUCH DER MODERNE. P. Bruckner. Aufbau Verlag; Berlín, 2001.

DIE GLÜCKSFORMEL. S. Klein. Rowohlt; Reinbeck, 2002.

ANLEITUNG ZUM UNGLÜCKLICHSEIN. (24ª edic.). P. Watzlawick. Piper; Munich, 2002.

nuye con el transcurso del tiempo. Este tipo de felicidad puede ejemplificarse, según Reiss, en la creación de relaciones estrechas y firmes o en la adopción de la estructura conceptual de una religión o de una cosmovisión.

Mihaly Csikszentmihalyi, del departamento de psicología de la Universidad de Chicago, abordó el tema desde una perspectiva totalmente distinta. Comprobó que los sentimientos de felicidad profundos y satisfactorios surgen cuando los individuos se implican concentradamente y con éxito en una misión exigente. Para este estado Csikszentmihalyi acuñó el concepto de fluencia o experiencia óptima. Es una actividad en la que estamos tan inmersos que nos absorbe por completo y nos olvidamos de nosotros mismos y del mundo a nuestro alrededor. Se da sobre todo con el trabajo creativo — escribir una novela o pintar un cuadro —, así como con el juego y las tareas que requieren un alto grado de concentración y de esfuerzo intelectual.

Presión fatal por alcanzar la dicha

Las acciones que llevan a la fluencia se ejecutan sin otro objetivo que ellas mismas. Aquí el concepto de fluencia se asemeja al concepto de felicidad basado en los valores, de Reiss. Dando un paso adelante Csikszentmihalyi se opone a una concepción muy extendida según la cual la felicidad depende de las casualidades, sin que el individuo pueda influir en ella. Todo lo contrario: la fluencia se da con una acción encaminada a un fin. En todo caso el requisito de las experiencias de fluencia es tener el valor de enfrentarse a los desafíos. Lo que implica dejar de lado la seguridad y las rutinas protectoras cotidianas.

Sin embargo, los intentos psicológicos por aclarar estos fenómenos no abren las puertas a un camino real hacia la felicidad personal. Al final de todo, esa emo-

Elección de pareja

Mire usted a su esposa o marido con detenimiento.

¿Le recuerda a alguien? Sustentan algunos que nos enamoramos de personas que se parecen a nuestros padres, naturales o adoptivos

Lynn Dicks

Se dice que, en cuestión de amores, los opuestos se atraen. Pero eso no coincide con los resultados de las investigaciones dirigidas por David Perrett. En el Instituto de Psicología de la Universidad de St. Andrews, los iguales atraen infaliblemente a los iguales. Y aunque aquí no se trate de atracción sexual, sino de estudiantes mirando en las pantallas de los ordenadores a hipotéticos compañeros de pareja, los resultados de Perrett han levantado una auténtica polvareda.

David Perrett es conocido por su habilidad en la transformación informática de rostros humanos; maestra fue su labor en la conversión gradual de Margaret Thatcher en John Major. Pero le interesa, sobre todo, aplicar esa capacidad configuradora a la investigación psicológica. Desde hace más de diez años, Perrett y su equipo vienen realizando tests como el siguiente: colocan a grupos de estudiantes ante las pantallas del ordenador y les presentan largas series de rostros. Deben luego responder preguntas sencillas, aunque elocuentes; por ejemplo: de los rostros observados, ¿quién es el que más te gusta?

Con su trabajo se proponen extraer las características comunes esenciales de rostros atractivos. Al igual que otros equipos de psicólogos, Perrett y sus colaboradores se encontraron que las personas de perfil normal tienen algo especial que atrae a los demás. Entrecruzando muchas caras se obtiene una mezcla anodina, pero curiosamente atractiva. Y este resultado obtiene mejor calificación que incluso el más bello de todos los semblantes.

Como sucedió con los otros grupos de trabajo, a los psicólogos escoceses les llamó la atención que las valoraciones eran más altas cuando exageraban determinadas características de los rostros representantes del promedio. Si acentuaban la frente o la barbilla de un hombre o si aumentaban las proporciones del mentón, surtía de pronto el efecto seductor del joven Marlon Brando. Si al mezclar los rasgos del semblante femenino se hacía la cara un poco más plana y alargada, la barbilla más pequeña y se resaltaban los pómulos — piénsese en Audrey Hepburn — subían también bastante los valores en la escala de las preferencias.

Todo esto apunta a que nuestros detectores de belleza están sintonizados para reaccionar ante una especie de rostro “ideal”.

Pero había ahí un fenómeno curioso. Si Perrett fotografiaba la cara de los probandos y mediante un programa informático modificaba los rasgos asociados al sexo, los probandos ¡se quedaban locamente prendados de su doble alterado! Con una peculiaridad asombrosa: jamás reconocían en la foto manipulada una versión feminizada o masculinizada de sí mismos. Sí sentían que presentaban un no sé qué que les atraía.

Los psicólogos creen ahora saber en qué consiste este enigmático factor de belleza. Sin tener de ello conciencia, no nos vemos a nosotros, sino a nuestros padres. Con lo que podría haber un átomo de verdad en la idea freudiana según la cual la huella de nuestros padres queda impresa durante la fase receptiva de nuestra vida y buscamos, luego, compañeros de pareja similares. Quizá se trate de una propuesta no demostrada todavía con solidez suficiente. Pero si Perrett y su

equipo tuvieran razón, habrían dado con una fuerza impulsora de la evolución humana. Este mecanismo podría por ejemplo explicar por qué las características raciales se diferencian entre sí más de lo que requeriría la adaptación al entorno correspondiente.

Claro está que no es realmente nada original la observación básica de que las personas eligen a menudo compañeros de pareja de un parecido asombroso con ellas. Desde hace decenios los psicólogos sabían que personas imparciales podían conjuntar fotografías de personas individuales para formar matrimonios. No resulta tan evidente, por el contrario, con qué fuerza y poder de diferenciación actúa la atracción entre personas que se parecen entre sí. Y es que el fondo de este mecanismo es, a la postre, misterioso. Puede que lo igual atraiga a lo igual; pero, ¿cuál es el origen de este fenómeno?

Se podría encontrar una mera explicación sociológica. Los matrimonios unen a personas de la misma religión, un nivel cultural parecido y una cuenta bancaria igualmente alta. Otra razón es que, al buscar compañero de pareja, nos jugamos mucho cada uno. De ahí que nos sintamos seguros cuando escogemos a alguien parecido a nosotros o nos contentamos con quien tiene una atractivo similar al nuestro. Puede ser que esa semejanza detectada en los miembros de una pareja refleje exactamente que las personas encuentran esa nivelación deseada.

Sin embargo, Perrett y su equipo dudan de que resida ahí la razón última. Para ellos, las parejas suelen coincidir en una serie de rasgos. Así, en el color de los ojos, que no cuenta en general como un patrón válido de belleza. En tales



casos la semejanza entre los dos individuos se basa necesariamente en el hecho de que buscamos a quienes se nos parecen o son similares a miembros de nuestra familia.

Guiados por esta percepción, los investigadores escoceses abordaron la influencia del aspecto externo de los progenitores en la elección de pareja. Computaron por ordenador la imagen de un rostro normal en diferentes fases de la vida y rogaron a sus estudiantes que calificasen el atractivo correspondiente a cada etapa. Los resultados fueron notables. Básicamente todos los probandos encontraron más bellas las caras más jóvenes. Sin embargo, los estudiantes nacidos de padres de más de treinta años de edad veían las caras de persona mayor más atractivas que lo que la veían por término

medio los estudiantes de padres jóvenes. Al parecer, las personas con padres mayores tienden posteriormente a preferir a compañeros de pareja de más edad.

El equipo de Perrett estudió hasta qué punto la belleza dependía de la edad. Lo hizo esquivando un problema básico. Padres e hijos comparten muchas características genéticas. Sería difícil discriminar si el juicio sobre la belleza emitido por los probandos dependía de su aspecto o del de sus padres. Por esa razón, los investigadores eligieron como característica la “edad”, pues nadie puede ser nunca tan viejo como sus padres. El psicólogo escocés puntualiza que “la autoobservación jamás puede influir en la elección”.

Podría acaso darse eso a propósito de la nariz, la barbilla y el perfil de los pómulos, que, en todo caso, constituyen

rasgos heredables. No obstante, Tony Little, colega de Perrett, investiga la influencia del color del cabello y de los ojos en el atractivo de la persona. Asegura que “hay que hacer amplias pruebas aleatorias y manejar una complicada estadística para obtener un resultado fiable”. Los datos cosechados parecen, en su opinión, prometedores. Sus conclusiones apuntan a que nosotros preferimos personas con el mismo color de ojos que el de nuestra madre —si somos varones— o de nuestro padre —en el otro supuesto—. ¿Quizás una alusión a una base biológica del complejo de Edipo freudiano? Edipo, el héroe trágico de la mitología griega, mató a su padre y se casó con su madre. Más tarde Freud describió este complejo para explicar la dinámica de las relaciones entre padres e

La diversidad genética es clave para una buena salud biológica. ¿No deberíamos estar programados para sentirnos atraídos por tipos completamente distintos?

hijos; un mecanismo caracterizado desde la vertiente de los hijos por un componente erótico. Perrett deja traslucir que la tesis de Freud no andaba muy errada.

Para terminar de esclarecer la cuestión de “autocontemplación o influencia profunda de los padres” habría que comparar las preferencias de los hermanos criados por padres biológicos con las de aquellos de padres adoptivos. Si damos la razón a Perrett, los hijos adoptivos preferirían rostros semejantes a sus padres adoptivos y no a los de sus padres reales, pese a la comunión genética de rasgos. Pero de momento su equipo ha postergado esa línea de investigación. Hay una segunda cadena argumentativa, indirecta, que merece atenderse.

A primera vista, sorprende que uno aprenda lo que es atractivo a través de la mirada de sus padres. Se trata, empero, de un fenómeno muy conocido en biología: así aprenden muchos animales, desde muy pronto, con quién han de aparearse. A veces incluso podemos engañar a las crías. Un pato criado con una familia de gansos intentará aparearse con uno de ellos cuando alcance su madurez sexual. El macho de *Lonchura leucogastroides*, ave de una tonalidad marrón, despliega una preferencia por hembras de cresta roja, si antes hemos adherido plumas rojas a las cabezas de los padres del polluelo.

También los mamíferos están sujetos a una “impronta sexual”. El equipo dirigido por Keith Kendrick, del Instituto Babraham de Cambridge, consiguió en 1998 que unas ovejas adoptaran a cabras recién nacidas y, a la inversa, que varias cabras adoptaran a corderos. Una vez crecidos y mezclados en un establo con ovejas y cabras de ambos sexos, estos animales adoptados no dudaron: se decidieron inmediatamente por la especie de la madre adoptiva.

Naturalmente la impronta sexual en estos animales lleva a una elección bastante simple; sólo siguiendo a sus padres deciden con qué especie se aparean. En el caso de la impronta humana, la cuestión es mucho más sutil, puesto que la elección del compañero de pareja se desplaza en dirección a un “tipo de padres”.

Si admitimos la existencia en el ser humano de esta impronta sexual, ten-

dríamos que saber *cómo* aprendemos a preferir los rostros que se parecen a los nuestros y a los de nuestros padres. Sin embargo no nos vale para resolver un enigma mayor: ¿de qué serviría una sintonización tan ajustada de nuestros sensores de belleza? ¿Y cuál sería su utilidad para la procreación?

El etólogo Pat Bateson, de la Universidad de Cambridge, nos ofrece una posible explicación, fundada en el incesto. Es cierto que el apareamiento con un pariente conserva características genéticas nocivas en el acervo genético de una población. Pero también puede ser que valiera para conservar combinaciones genéticas especialmente favorables para la vida en un determinado lugar. Además, podría hacer aumentar el porcentaje de genes comunes de padres e hijos.

Bateson cree consecuentemente que se trata de encontrar un equilibrio entre el apareamiento a todo trance y el incesto forzoso. Los animales lo consiguen en

Los resultados provisionales apuntan a una base biológica del complejo de Edipo freudiano.

su caso mediante la impronta sexual, lo que en su opinión es un mecanismo preciso para tener la “mejor descendencia posible”.

A comienzo del decenio de los ochenta Bateson crió codornices japonesas (*Coturnix japonica*) con familias adoptivas. Les pintó a los animales adornos artificiales; entre otros, puntos en la pechuga. Más adelante los machos jóvenes eligieron como parejas a animales con adornos semejantes, aunque no idénticos a los suyos. Resultó que el nivel preferido de semejanza era el de primos y primas en primer grado. Con el trasfondo de esos resultados no sorprende que los matrimonios entre personas con esta relación de parentesco no sólo estén permitidos sino que incluso se vean con buenos ojos en determinadas culturas.

No todos admiten que un porcentaje de incesto ejerza indudables aspectos positivos. Bill Amos, de la Universidad de Cambridge, demostró hace poco las

ventajas de los cruces fuera de su propia población en las ballenas piloto y en las focas. Cuanto más lejanos son los lazos de parentesco entre los padres en estas especies tanto más fecunda y, por tanto, biológicamente mejor preparada la prole. Desde el punto de vista de Amos la mejor opción casi siempre es un individuo totalmente ajeno al núcleo familiar. Pero entonces ¿qué explicación da al atractivo que sentimos por personas que se parecen a nosotros mismos?

Amos asegura que este fenómeno depende del riesgo de incesto dentro de una determinada población; y ese peligro es para un animal como la ballena mucho mayor que para los hombres. Afirma que “la humanidad crece exponencialmente y por eso son mínimos los efectos del incesto”. “Por ello desear a alguien que se parezca al propio padre constituye una buena estrategia: si uno ha llegado al punto de elegir compañero de pareja, es evidente el éxito del padre en la perpetuación de la especie.” En opinión de Amos “esto no fue siempre así”; y en algunas partes del mundo tenemos hoy día una situación completamente distinta. “Supongo que en los pequeños pueblos africanos de cazadores y recolectores no se encontraría el efecto derivado de la similitud de los dos miembros de la pareja.”

Los riesgos del incesto revisten menos importancia para el resto de la humanidad, estando nuestro mundo altamente comunicado y étnicamente diversificado. En el caso opuesto podría incluso comportar mayores peligros genéticos y sociales elegir a un compañero extraño de entre una variedad de gente tan grande y tan desconcertante. Con todo, está aún por demostrar que la magnitud de estos peligros sea la que nos lleve a mostrar nuestras preferencias por personas parecidas a nuestros padres.

Bibliografía complementaria

FACIAL ATTRACTIVENESS JUDGEMENTS REFLECT LEARNING OF PARENTAL AGE CHARACTERISTICS. D. Perrett et al., en *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 269, n.º 1494, págs. 873 y ss.; 2001.

Reproducido de *New Scientist*.

Matrimonio virtual

Mucha gente considera la búsqueda de compañero de pareja una empresa ardua y complicada. Nada más erróneo, si nos guiamos por investigaciones recientes, con modelos de ordenador, acometidas en el Instituto Max Planck de Investigación Educativa de Berlín

Ariane Fiesser

Peter Todd y su laboratorio de investigación organizan curiosos encuentros entre “personas” solteras. Los participantes son agentes virtuales y el local de reunión es un ordenador. Esos entes en busca de su media naranja, aunque programados, se comportan como personas de carne y hueso. Acuden a citas, recogen información sobre sus pretendidos y ponen de relieve aspectos de su propia valía. Cada interviniente debe encontrar el compañero más atractivo, es decir, que posea el máximo “valor de mercado”: por su aspecto, cuenta bancaria y carácter. Al final, una podrá “declararse” al otro. Si éste acepta la oferta, tendremos formada una pareja. Los dos desaparecen entonces del mercado matrimonial virtual.

Por ese camino se esperaba que el desenvolvimiento de tales criaturas aportaría las claves sobre cuestiones que a muchos inquietan: ¿cuántos candidatos hay que examinar antes de comprometerse? ¿Qué estrategias de comportamiento nos ayudan a encontrar nuestro compañero de la manera más rápida posible? ¿Con qué patrón se mide el equilibrio de la relación? En otros términos: ¿en qué se parecen los valores de mercado de los miembros de la pareja? Aunque Todd no garantiza el éxito, los resultados alcanzados muestran que es bastante fácil encontrar nuestro socio adecuado, siempre y cuando se eviten unos cuantos fallos muy corrientes.

El grupo berlinés Todd se inscribe en una nueva línea de investigación en el ámbito de la toma de decisiones. Conocido por “racionalidad restringida”, parten de la idea siguiente: las personas, al tomar una decisión, no consideran todas

las informaciones accesibles, por la evidente limitación de sus recursos cognitivos, materiales y temporales. Nos valemos, por contra, de una cuantas reglas sencillas, reflejo del cúmulo de experiencias adquiridas sobre el mundo, del estilo de “quien busque el puerto ha de caminar siempre cuesta abajo”. En la búsqueda de pareja, en concreto, impera la convicción de que “vistos varios, los hemos visto todos”.

Este método, circunscrito a una información limitada, dista mucho de la imagen ideal de los comienzos de la investigación en toma de decisiones, cuando dominaba la imagen del demonio de Laplace. Una suerte de geniecillo hipotético, que desbordaba toda limitación humana, para quien resultaba harto simple reunir y valorar todas las informaciones disponibles. Durante muchos años perduró ese planteamiento en la búsqueda de una explicación de los procesos de decisiones humanas.

Pero ese modelo o afines fracasan al aplicarlo a los quehaceres cotidianos, incluso de complejidad moderada. Sea por caso decidirse por un medio de transporte. Antes de optar por el “coche” o por el “tranvía”, ¿debería uno calcular en todo momento el consumo de gasolina en el tráfico urbano, el porcentaje en gastos de reparación por kilómetro y la disponibilidad de plazas de aparcamiento los sábados por la mañana? ¿Cuánto más difícil no será decidirse, de esta manera tan reflexiva, a favor o en contra de una potencial compañera para siempre!

En la vida real las cosas proceden con mayor sencillez. Así opina al menos Todd, cofundador del “Centro del comportamiento adaptativo y de la cognición” en el Instituto Max Planck de Berlín. “Al elegir compañero de pareja, expone, trans-

curre una búsqueda secuencial.” El solicitante examina a un candidato tras otro. Ahora bien, cada vez que se decide a favor o en contra de una persona, ignora con quién se va a encontrar en el futuro. Para solucionar este problema, el modelo secuencial incluye una fase de orientación, en cuyo transcurso nadie tiene por qué vincularse. A lo largo de ese período el solicitante corre naturalmente el riesgo de dar de lado a un compañero atractivo, pero en compensación desarrolla pronto el sentimiento de saber lo que es una elección acertada. “En la fase del compromiso, *fase de la vinculación*, se elige, opina Todd, a la persona que cubre el propio nivel de exigencia.”

La versión más simple —*unilateral*— de este proceso selectivo “transcurre como la compra del fruto del mango”, afirma Todd. Recorremos primero los puestos del mercado mirando las ofertas. Tras una serie de exámenes y comparaciones, compramos la primera fruta que nos parece mejor que las vistas hasta entonces. La cuestión es cuántos ejemplares hay que examinar para tener la máxima probabilidad de acertar en la elección. De acuerdo con la estadística, quien comprueba el 37 por ciento de todas las alternativas antes de tomar una decisión, tiene todas las posibilidades de acertar. Todd asegura “que este método unilateral presenta un inconveniente, y es que ningún mango protesta si no le gusta un comprador, lo que no ocurre con las personas, que sí pueden hacerlo ante solitudes no deseadas”.

Por esta razón los investigadores del Max Planck pasaron en sus reuniones festivas cibernéticas a la variante *bilateral* de dicho procedimiento. Ahora, la persona interpelada no es un objeto carente de voluntad; por tanto, puede



1. UNO TRAS OTRO. La búsqueda de pareja matrimonial transcurre de manera secuencial en el Instituto Max Planck de Investigación Educativa.

rechazar al pretendiente o comprador. La simulación de la estrategia del mango fracasó: los individuos que sólo se orientaban por los valores de los demás, prescindiendo de los propios, terminaban casi siempre solteros. La cuota de éxito llegaba en esta simulación al diez por ciento (véase la figura 2, centro). ¿Por qué? Porque en cada contacto atractivo sube rápidamente el nivel de exigencia de los participantes con respecto al máximo establecido (véase la figura 2, abajo). Sólo el que tiene un valor de mercado superior encuentra con este enfoque a su pareja, que por supuesto también pertenece a la clase adinerada.

El truco de la modestia

“Para contrarrestar la megalomanía en el mercado matrimonial virtual les aplicamos a los participantes unas dosis algo mayores de sobriedad”, dice Todd. Los intervinientes cibernéticos debían elegir a un compañero que figurase, en la escala de atracción, con un margen máximo de cinco puntos menos que ellos. Y la sorpresa fue que con este “método de menos cinco” formaron pareja de setenta a ochenta de todos los individuos (véase la figura 2, centro). Podían darse por contentos, pues según la simulación eran

mínimas las diferencias de valor de los componentes de la pareja con esta estrategia: un promedio de la mitad del margen de tolerancia de cinco puntos (véase la figura 2, arriba). El promedio de atractivo de las parejas se sitúa en el centro del espectro, lo que equivale a decir que al final encuentran su media naranja tanto la gente atractiva como los patitos feos (véase la figura 2, abajo).

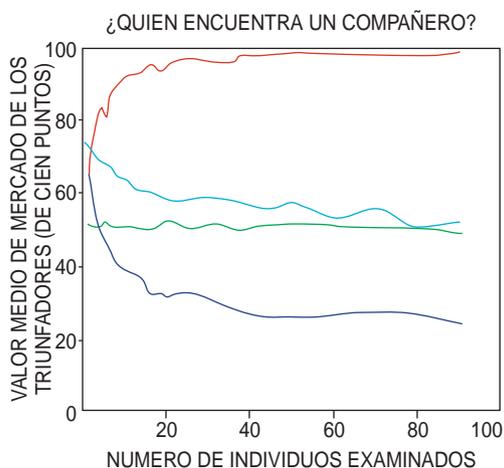
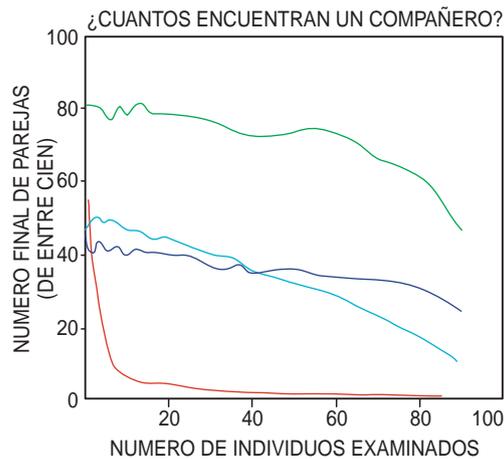
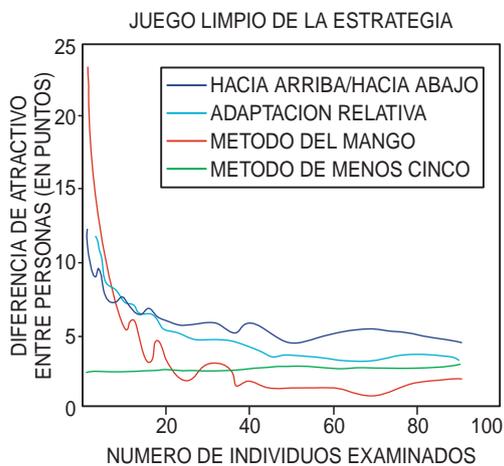
¿Deberíamos todos abonarnos a ese procedimiento? “Lamentablemente, responde Todd, no es posible. La estrategia se orienta por el propio valor de mercado. En realidad nadie conoce este dato, entre otras cosas porque depende del entorno y está sometido a modificaciones.” Por ejemplo, alguno podría irse a vivir a otro país o ganar en la lotería.

En consecuencia, hubo que ajustar su modelo. Aunque el equipo del Max Planck seguía asignando a los candidatos un valor de mercado, éste servía sólo de mero criterio de elección para los demás participantes. Y cada uno podía elucubrar respecto al propio atractivo. Desde el principio, a los aspirantes se les asignaba con criterios aleatorios esta autoevaluación, lo que al mismo tiempo valía para medir su nivel de pretensiones. Se abordó primero una variante muy sim-

ple del modelo: el rechazo por parte de los demás disminuía el supuesto valor propio de mercado siempre en la misma proporción, mientras que un éxito lo recuperaba también en la misma medida. En esta “estrategia de ascenso y descenso” figuran sobre todo los menos atractivos (véase la figura 2, abajo, curva inferior).

En posteriores y más complejas variantes del modelo se ponía el acento en la procedencia de las reacciones. Así, una propuesta de parte de personas presuntamente más atractivas podía reforzar la propia imagen, mientras que recibir calabazas de conocidos menos atractivos suponía asestar un golpe al propio ego. En la variante de la “acomodación relativa” la imagen de uno mismo se transformaba en una alternativa: en qué grado se consideraba la fuente de la retroalimentación más o menos atractiva. Teniendo en cuenta todos los criterios —juego limpio, valor de las parejas y cuota de éxito— éste constituye el método que arroja los mejores resultados.

En todas las simulaciones aparecía un fenómeno que, a primera vista, se diría absurdo. Según se comprobó en un determinado número de personas de la prueba, las posibilidades de encontrar a un solo componente de la pareja descendían cuanto más se le buscaba (gráfico del centro). Si ahondamos en el fenómeno, se nos ocurren dos razones plausibles del



2. EXITO DEL EMPAREJAMIENTO. El eje de abscisas indica el número de individuos que cada uno tiene que examinar antes de la vinculación (fase de orientación). Abajo: Una línea en torno al valor 50 significa que todo valor de mercado garantiza las mismas posibilidades de conseguir un compañero.

fase de vinculación, de diez a veinte compañeros de test (*gráfico arriba*).

Fue sorprendente el reducido número de participantes que cada participante tenía que examinar. Lo aclara Todd: “Según este modelo, apenas tiene sentido examinar más de aproximadamente veinte participantes en la fase de orientación. Más allá de estas cifras, no se obtiene ningún compañero mucho mejor y con los porcentajes indicados se reduce mucho el riesgo de un negocio poco limpio. A muchos economistas les puede sonar herético lo anterior, ya que ellos en muchos de sus modelos de decisión parten de que la gente concluye demasiado pronto la búsqueda de compañero o de empleo”.

Los investigadores del Max Planck de Berlín han dado un paso al frente. Estudian ahora la validez de sus modelos en la vida real. Para ello recurren a datos demográficos sobre la edad de casamiento. Ya el economista Ansley J. Coale, de Princeton, había investigado la distribución matemática de la edad en el matrimonio. Sus estudios mostraron que las curvas de desarrollo reflejan un resultado similar independientemente del país considerado o de la generación abordada. La probabilidad de contraer matrimonio a una determinada edad se asemeja a una curva asimétrica de campana, que asciende casi perpendicularmente por la izquierda y decae lentamente a la derecha en proporción a edades más avanzadas.

Nada de perfeccionismo

“Sin embargo, esa forma de campana, recuerda Todd, no salía cuando calculamos los datos de nuestros modelos. Los resultados empezaban con un valor máximo para caer después en picado.” Por ello, toleraron una variación en la duración de la fase de orientación. “Cada uno tenía que examinar exactamente a doce candidatas antes de vincularse. Esta cifra, acreditada en otras simulaciones, podía variar en unos cuantos más o menos.” Pero curiosamente las curvas de los modelos coincidían de pronto con los datos demográficos de edades de

casamiento. Según Todd no se puede deducir todavía con datos estadísticos qué estrategias utilizan los individuos, de entre todas las investigadas. “El método de menos cinco, la adaptación al valor del compañero e incluso la estrategia del mango dieron como resultado curvas de proporcionalidad aparentemente realistas.” Se trata, pues, de perfeccionar los supuestos establecidos hasta ahora.

Y Todd empieza su desiderata: “Necesitamos por ejemplo saber cuántos compañeros ha tenido cada individuo antes del matrimonio”. Los modelos de los investigadores solían partir de la premisa siguiente: cada individuo examinaba detenidamente a un candidato a formar pareja por cada año de vida. Además, Todd presume que la transición de la fase de orientación a la de vinculación transcurre fluidamente, a diferencia de lo que ocurre en los modelos. Probablemente tampoco hay un único y estricto nivel de pretensiones, pues es muy raro que se pueda constatar a primera vista y de manera indiscutible el “valor” de un compañero. Por ello parece más realista introducir un *margin* de aceptación.

Se trabaja ahora con modelos cuyos candidatos virtuales pueden “comprometerse oficialmente”; es decir, aseguran lo conseguido, aunque sigan buscando otras posibilidades. Aquí se suprime la necesidad infundada de decidirse inmediatamente a favor o en contra de uno y la búsqueda ya no transcurre de forma secuencial.

Uno de los enunciados más importantes del equipo de Todd es que, a la hora de elegir pareja, tiene más éxito la búsqueda limitada de información que la recabación completa de todos los datos relevantes para la decisión. El mensaje claro reza que los perfeccionistas, que andan buscando durante mucho tiempo en el mercado del matrimonio, no encuentran un compañero mejor que los que al cabo de doce intentos tienen muy claro qué es lo que quieren. El demonio de Laplace debió de morir soltero.

ARIANE FIESSER investiga en el Instituto Max Planck de Investigaciones Cerebrales.

Bibliografía complementaria
 MATE CHOICE TURNS COGNITIVE. G. F. Miller y P. M. Todd en *Trends in Cognitive Sciences*, 2, págs. 190 y ss., 1998.
 SIMPLE HEURISTICS THAT MAKE US SMART. G. Gigerenzer et al. Oxford University Press; Nueva York, 1999.

SYLLABUS

Sincronización neuronal

Las células nerviosas de diferentes lugares del cerebro pueden sincronizar su actividad y emitir impulsos eléctricos al mismo tiempo. Los investigadores no han logrado establecer todavía la razón de ese fenómeno

Christian W. Eurich

El concierto de año nuevo de la Filarmonía de Viena ha terminado. El director se vuelve al público en cumplida reverencia. Los asistentes, entusiasmados, se arrancan en aplausos. Suenan, al principio, de un modo anárquico y heterogéneo; cada uno, a su manera y pauta. De repente, en un sector del auditorio, los espectadores acompañan los aplausos. Cada vez se van sumando más personas a su patrón, hasta que la sala entera sigue un ritmo uniforme.

¿Qué ha pasado? Cada espectador ha oído el aplauso de los demás y ha cambiado su propia pauta. La sincronización del aplauso surge del conjunto de los asistentes. Sólo de ellos. Sin batuta externa que marcara el compás.

A veces, el cerebro se arranca también al unísono, en lo que a las imágenes se refiere. A finales de los ochenta, Wolf Singer, del Instituto Max Planck de Investigaciones Cerebrales en Frankfurt, y Reinhard Eckhorn, de la Universidad de Marburgo, descubrieron, en la corteza visual del gato, neuronas que

se excitaban sincrónicas. Los teóricos, espoleados por un fenómeno tan enigmático, se aprestaron a desentrañar la sincronización neuronal con la ayuda de un modelo matemático. Necesitaban para ello un prototipo, una suerte de neurona virtual que presentara las propiedades eléctricas de una neurona real y pudiera, por tanto, emitir y recibir impulsos. Una analogía cabal del espectador del con-

AL COMPAS. Los espectadores de un concierto con frecuencia sincronizan de manera espontánea sus aplausos.



cierto, que oye los aplausos de los otros asistentes y se une a ellos.

Entre el interior de la neurona real y el medio externo que la rodea, domina una tensión eléctrica, el potencial de membrana. Si la neurona se excita y el potencial de membrana supera determinado valor umbral en el soma celular, la neurona emite un impulso eléctrico: se dispara el potencial de acción. El modelo virtual de neurona más sencillo que imita el proceso biológico data del año 1907. Se trata del modelo de Lapicque o de la "neurona de integración y disparo". Una corriente de flujo constante eleva su potencial de membrana hasta el umbral de disparo, la neurona produce un potencial de acción y el potencial de membrana regresa a su valor de reposo. Empieza entonces un nuevo ciclo.

Pero, ¿podía ese modelo neuronal excitarse también en sincronía? Sólo había un modo de averiguarlo: implicar varias neuronas virtuales en una red. Renato Mirollo, matemático del Colegio Universitario de Boston, y Steven Strogatz, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, demostraron en 1991 que en tal red las neuronas virtuales sincronizaban casi siempre sus potenciales de acción.

Sincronización de las neuronas

Para entender qué acontece, conviene empezar por el caso más sencillo: dos neuronas acopladas entre sí. Al principio del ensayo, ambas tienen un potencial de membrana aleatorio y, por lo tanto, diferente en la mayoría de los casos. Sus correspondientes potenciales no se comportan de forma sincronizada. La primera de las dos que alcanza el umbral de disparo y emite un potencial de acción, excita entonces a la otra neurona, cuyo potencial de membrana aumenta así de un modo brusco. El potencial de la primera neurona, por el contrario, disminuye y retorna al valor de reposo de partida.

Muy poco después sucede lo mismo, aunque a la inversa. La segunda neurona alcanza el valor umbral, dispara y vuelve al estado de reposo. El potencial de acción eleva entonces el potencial de membrana de la primera neurona. Si se repite este proceso varias veces, llega un momento en que el potencial de acción de una neurona aumenta el potencial de membrana de la otra hasta el umbral directamente, con lo que las dos disparan prácticamente al unísono. A partir de ese instante, las dos neuronas virtuales se hallan sincronizadas. De no mediar ningún influjo externo que perturbe la red, ambas permanecerán así en adelante.

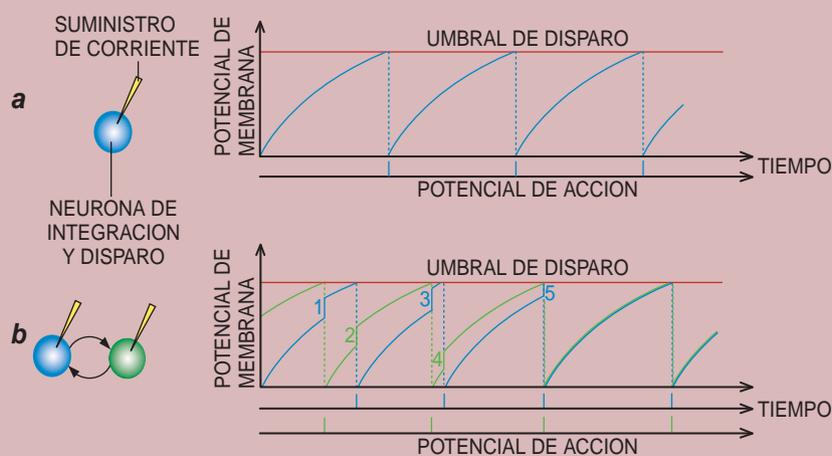
El modelo de integración y disparo puede, por tanto, imitar algunas propie-

Disparo neuronal

Una "neurona de integración y disparo" recibe una corriente constante (a). En virtud de la misma, su potencial de membrana va cambiando de forma periódica en el transcurso del tiempo. El potencial aumenta, alcanza el umbral de disparo (*línea roja*), se genera un potencial de acción y el potencial de membrana regresa a su valor de reposo. Se inicia entonces un nuevo ciclo.

Si dos neuronas de integración y disparo se encuentran acopladas entre sí, los dos potenciales de membrana se

influyen mutuamente hasta sincronizarse (b). En este ejemplo, la neurona verde alcanza primero el umbral de disparo. Su potencial de acción excita la neurona azul (1). Inmediatamente después, la neurona azul dispara y se excita la neurona verde (2). Tras un par de repeticiones del ciclo, el recorrido de las curvas acorta sus distancias (3, 4). Por último, la neurona azul llega al mismo tiempo con la neurona verde al valor de umbral debido a la excitación. A partir de ese momento las dos neuronas disparan de forma sincrónica.



THOMAS BRAUN

dades importantes de las neuronas cerebrales. A través del mismo, podemos entender de qué manera se comporta cada neurona de una red, sin tener que brincar en una bioquímica complicada, con su maraña de canales iónicos y neuro-moduladores.

¿Para qué sirve la sincronización del sistema nervioso? A este respecto, la investigación no ha llegado todavía a una respuesta unánime. De acuerdo con una opinión extendida, se excitarían a la vez todas las neuronas que procesaran uno e idéntico estímulo. Con ese proceder, el sistema nervioso podría mantener, separados, diferentes estímulos que llegaran al mismo tiempo del entorno.

Quizá la excitación sincrónica sea necesaria también para el aprendizaje. Así lo avalan recientes resultados obtenidos por el grupo de investigación de neurofisiología cognitiva y técnica de formación de imágenes funcional del Hospital de Epilépticos de Bonn. Las neuronas que operan en sincronía, en dos áreas diferentes del cerebro, pare-

cen ayudarse mutuamente para transmitir nueva información entre esas dos regiones y, por último, almacenarla en la memoria. Pero todavía no está claro si los modelos de redes basadas en las neuronas de integración y disparo pueden arrojar luz sobre estos complicados procesos. Ello no impide que otros modelos hayan dado buenos resultados en el esclarecimiento de ciertas formas de aprendizaje.

CHRISTIAN W. EURICH, doctor en física, trabaja en el instituto de neurofísica teórica adscrito a la Universidad de Bremen.

Bibliografía complementaria

OSCILADORES ACOPLADOS Y SINCRONIZACIÓN BIOLÓGICA. Steven H. Strogatz e Ian Stewart, en *Investigación y Ciencia*, pág. 54-61, febrero 1994.

ENSAYO FILOSÓFICO

Crítica en Kant

José Luis Villacañas Berlanga

Llama la atención que Kant, frente a los filósofos anteriores y posteriores, no haya rotulado su obra con el pomposo título de ciencia, de sistema, de doctrina o de tratado. Con cuidada atención, rechazó para su producción filosófica principal cualquier palabra que connotara algo acabado, cerrado, perfecto, demostrado de una vez para siempre. Sin ninguna duda, esta decisión provocó malentendidos continuos en sus lectores y determinó que el movimiento de la filosofía posterior pretendiese cerrar lo que Kant había dejado inacabado: elevar la filosofía de Kant a ciencia estricta, a sistema perfecto. Ese fue el sentido de todo el idealismo y también se puede apreciar en la fenomenología de Husserl. Todavía nuestro Ortega, que se consideró a sí mismo como el primer español que había entendido de verdad a Kant, llegó a afirmar que éste, propiamente hablando, no tenía filosofía.

En realidad, Kant estampó en la portada de sus obras mayores una palabra muy significativa: Crítica de la razón pura, Crítica de la razón práctica, Crítica de la facultad de juzgar. Si pensáramos que con esta palabra Kant se refería a una forma disminuida de conocimiento, a una intelección endeble, a una explicación provisional, a una forma de ciencia imperfecta, que esperaba todavía su cumplimiento definitivo, si creyéramos todo esto, sin duda que no entenderíamos su significado. Esto es lo que le pasó a la filosofía posterior. La crítica es una forma de argumentar característica y, cuando se aplica de forma adecuada, no puede ser mejorada ni elevada a ciencia. El tratamiento crítico de un asunto no puede ser superado por el tratamiento científico del mismo. De hecho, crítica tenemos justo de aquello de lo que no podemos tener ciencia. El principal error consistiría en aplicar la forma de la ciencia a lo que no puede resistir sino un

abordaje crítico. Este fue el error que cometió la filosofía idealista posterior a Kant, con su pretensión de elevar la filosofía en su totalidad a ciencia.

Un enunciado es decisivo ahora. La crítica, tal y como la ejerció Kant, intentaba analizar los fundamentos del conocimiento, de la praxis moral y política y de la apreciación estética de la naturaleza y del arte. Su aspiración era sobre todo reglar la actuación científica del hombre, explicar la posibilidad del conocimiento humano, identificar los principios de la moralidad y de la constitución política justa, explicar la posibilidad de los juicios estéticos, del acuerdo y desacuerdo sobre la belleza y la fealdad.



El escándalo de la filosofía de Kant se podría entonces enunciar así: ¿Cómo puede haber ciencia, arte, política y moral rigurosos si sus fundamentos no estaban asegurados, ni demostrados científicamente? ¿Qué grado de fiabilidad tendría el edificio del conocimiento, de la moral o de la estética si sus fundamentos no eran científicamente seguros?

Este escándalo, en el fondo, depende de muchas incomprensiones acerca del verdadero poder del hombre. Quien se escandaliza de esto es porque quiere que el hombre sea algo más que hombre. Desde luego, sólo somos seres temporales, históricos, relativos, que no pueden fundar con carácter absoluto. Pretender que nuestra cultura, ciencia, moral o arte, tengan un fundamento definitivo sería pretender que el hombre rozara en algún momento el estatuto de un Dios. En épocas en que el hombre creía ser depositario de una verdad divina, aquélla era una creencia natural. En la modernidad, que supone la quiebra de los vínculos entre Dios y hombre, esa creencia sería absurda. El hombre no puede elevarse por sí mismo a Dios. La crítica aspira esencialmente a recordárnoslo. Por eso, la crítica es un discurso que siempre parte de un análisis de las dimensiones humanas y aspira a mostrar los límites de su sentido, de su actuación y de su poder.

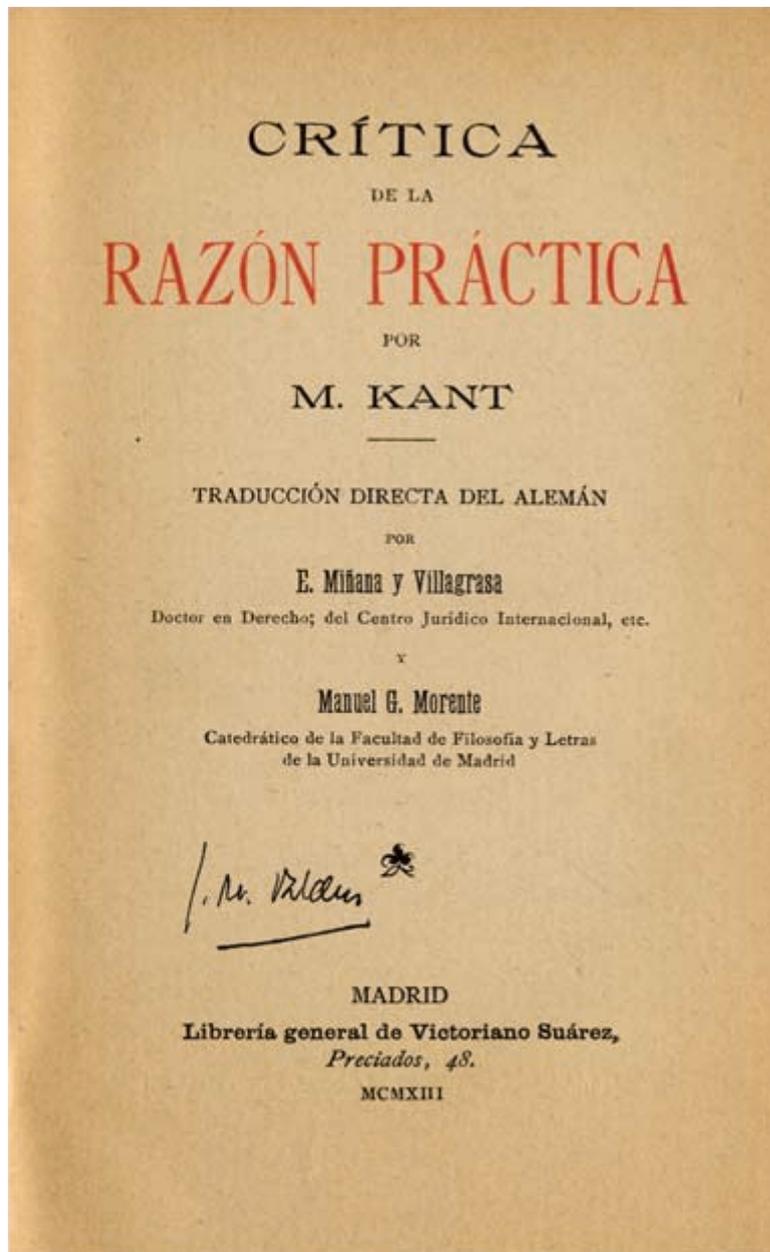
La crítica tiene que ver con el autoconocimiento humano y, en este sentido, obedece al mandato que el oráculo de Delfos propuso a Sócrates: conócete a ti mismo. Ahora bien, el hombre es un ser histórico y temporal y su capacidad de autoconocerse no acaba nunca. Es tan abierto como el propio tiempo. Con ello, no puede tener una ciencia de sí mismo, primero porque no es un ser acabado y segundo porque no puede verse de manera inmediata a sí mismo. De hecho, la crítica es ante todo una estrategia muy elaborada de autoconocimiento. Además, a la crítica le es propia su validez para el tiempo del presente. Este es otro de los motivos por los que la crítica no es ciencia. El presente no puede ser conocido científicamente porque es un tiempo único. Este saber acerca de nosotros mismos en la circunstancia de nuestro propio presente es lo que nos ofrece la crítica. Sobre ello se construye en cada instante la ciencia, la moral, la política y el arte. No está fundado sobre una

imposible roca firme de la ciencia, sino sobre el saber relativo de la crítica.

¿Pero qué pone de manifiesto la crítica y cómo? Estas dos preguntas serán las decisivas para entender el estatuto de la crítica en Kant. La crítica pone de manifiesto aquellas dimensiones del ser humano que son universales, que pueden ser reconocidas en cualquier hombre, que cualquiera puede descubrir en sí, que construyen el máximo consenso posible entre los hombres, que permite por lo tanto la colaboración de todos los hombres en proyectos que pueden ser ampliados a la tierra entera. Los hombres así coinciden en ser espacio-temporales, en imaginar de la misma manera, en ordenar el tiempo en las mismas dimensiones, en utilizar un puñado de categorías que les permiten a todos hablar sobre objetos. También coinciden en considerarse como depositarios de dignidad y portadores de derechos, en reconocer la injusticia cuando les afecta y en asociar la dignidad con la vida en libertad. Coinciden también en gustar de la naturaleza, en hallar placer en contemplarla, en disfrutar juntos de ella, en apreciar la armonía de las formas naturales.

¿Cómo logra la crítica que los seres humanos se identifiquen en estos rasgos, hasta el punto de que en un presente dado se vean como una única especie? Haciendo pie en las instituciones humanas, como el derecho, en las realizaciones históricas del hombre, como la ciencia, en las producciones de la arquitectura. Luego, mostrando cómo han sido posibles, qué normas básicas se han puesto en práctica para realizarlas. Después, mostrando que la lógica y la coherencia de esas normas sólo pueden obtenerse cuando se propongan como universales y exhibiendo aquellos elementos en el hombre que permiten esa interpretación universal. El argumento crítico dice que la universalidad de los rasgos del hombre no es sino una forma más refinada de autoconciencia. Todo hombre que se conozca bien ha de asumir que su humanidad no es exclusiva, sino una estructura compartida por cualquier otro hombre.

Los argumentos de la crítica dependen del entorno de ese hombre al que se habla, de su presente. Por eso la crítica no puede decir una palabra última o definitiva. En cada presente ha de decir la suya, reelaborando los propios argumentos, mejorándolos con herramientas retóricas de persuasión adecuadas. Por eso, pueden entrar en la crítica metáforas que cualquiera puede comprender sin que tenga especialización; o usarse analogías de otros campos de la vida que



todo el mundo comparte; o extraer sus ejemplos de ámbitos consolidados, capaces de fundar consenso sobre sus argumentos. La crítica quiere descubrir lo que en cada presente une a los hombres entre sí. Esa unión es lo único que garantiza el trabajo cooperativo en las instituciones de la ciencia, del Estado, del arte, de la moral. Por eso sólo reclama dos condiciones básicas y decisivas. La primera es libertad de su uso público, la posibilidad de ejercerse públicamente sin restricción alguna. La segunda es su soberanía: todo debe someterse a la crítica, que no acepta poder alguno como legítimo antes de su examen. En estas dos

condiciones, y en su capacidad de persuadir en cada momento histórico en favor de la colaboración en los proyectos de la humanidad, la crítica es, sobre todo, una herramienta por la que el hombre, mayor de edad, se emancipa a sí mismo. Por eso nunca tiene fin. De ahí que no puede ser sistema ni ciencia, sino esfuerzo permanente de autoconocimiento y de construcción de un mundo meramente humano y provisional.

JOSÉ LUIS VILLACAÑAS.
Universidad de Murcia

LIBROS

Dualismos

PSYCHE AND SOMA. PHYSICIANS AND METAPHYSICIANS ON THE MIND-BODY PROBLEM FROM ANTIQUITY TO ENLIGHTENMENT. Dirigido por John P. Wright y Paul Potter. Clarendon Press; Oxford, 2000.

LOOKING FOR SPINOZA. JOY, SORROW, AND THE FEELING BRAIN, por Antonio Damasio. Harcourt; Orlando, 2003.

NEUROSCIENCE AND THE PERSON. Dirigido por Robert John Russell, Nancy Murphy, Theo C. Meyering y Michael A. Arbib. Vatican Observatory Foundation; Roma, 1999.

A tres grandes etapas acostumbra reducirse el estudio de las relaciones entre el alma y el cuerpo. Una primera, filosófica, se extiende desde la protohistoria hasta las postrimerías del siglo XVIII. Le sucede un período de efervescencia psicológica, que se prolonga hasta avanzada la segunda mitad de la centuria vigésima. Vivimos ahora en una tercera etapa, científica.

Como la mayoría de los sumarios, también éste adolece de simplismo. Nunca estuvo ausente la perspectiva científica del problema mente-cuerpo (*Psyche and Soma. Physicians and Metaphysicians on the Body Problem from Antiquity to Enlightenment*). Desde muy pronto, entre los significados de *psiqué* destacan su carácter de principio de vida, de sensación, de integración y de movimiento ordenado a un fin, de sujeto de inteligencia y moralidad. Por su parte, *soma* es lo que aloja a la psiqué y la explicita en sus actos, el organismo entendido como algo integrado. Tal planteamiento, esbozado en los poemas homéricos, recibe una elaboración científica, en la *Colección hipocrática* y, filosófica, en los diálogos de Platón. De la mitología y la religión griega rescata Sócrates a la psiqué para considerarla entidad real, no sólo aliento etéreo de vida, al par que los

autores médicos comienzan a delimitar sus funciones más nobles, la inteligencia y las emociones. Las funciones del soma conforman, juntas, la *physis* (naturaleza) del individuo.

Desde un comienzo, sin embargo, aparece neblinosa la interrelación entre cuerpo y alma. Si en los diálogos platónicos *Cármides* y *Gorgias* emerge un enfoque holista —el cuerpo es parte o posesión del alma—, en el *Fedón* se subraya la distinción sustancial entre ambos. En este último diálogo el alma es una entidad invisible, inmutable e indestructible, que representa el yo moral. Con mayor nitidez, Aristóteles asigna acciones diferentes al cuerpo y alma, pero admite, en su extensa obra biológica, correlatos físicos de las funciones psíquicas, incluidas las cognitivas. Aunque sitúa en el corazón la sede del alma, considera a ésta una estructura dinámica y patrón de organización del soma. A él le debemos un tratado sobre el alma centrado en torno a la misma como principio de vida, origen de todas las facultades (desde la nutrición hasta el entendimiento). En Aristóteles beberán la filosofía árabe, la medieval cristiana y la renacentista.

A ese principio de vida, Galeno, siguiendo a los estoicos, le llamó *pneuma*. Puesto que tres eran las funciones vitales, había tres clases de hálitos: *pneuma physikon*, *pneuma zootikon* y *pneuma psychikon*. (Los latinos los tradujeron por “espíritus”, sin ninguna relación con el significado común actual del término.) Los helenistas pensaron que la propia alma constaba de esa materia sutil, pero materia al cabo.

Con René Descartes y la ciencia moderna se restringe el concepto de alma al de mente. Se le arrebatan, pues, al alma las funciones vitales que compartimos con los animales. La sustancia pensante, en su quehacer fundamental, prescinde de la sustancia extensa, del cuerpo. Se quiebra la interrelación mutua

defendida por los escolásticos, cuyo apogeo central rezaba que nada podía haber en la mente que no viniera de la percepción de los sentidos. La filosofía moderna abraza el dualismo cartesiano. No todos, por supuesto, ni de la misma manera. Baruch Spinoza, uno de sus primeros abogados (*Looking for Spinoza*), aunque distinguía entre pensamiento y extensión, consideraba, a éstos, atributos de la misma sustancia, Dios o naturaleza. (En el nuevo ensayo de Damasio la figura de Spinoza constituye un mero recurso cultural para la defensa de su tesis neurológica radical y estandarte de su propia ideología. Hay que tomar a Damasio al pie de la letra cuando dice que no es filósofo ni historiador, tal es la desfiguración que perpetra de otros sistemas doctrinales y la mejorable referencia a instituciones y personajes.)

Spinoza compendia su doctrina del cuerpo en seis postulados: “I) El cuerpo humano se compone de muchísimos individuos (de diversa naturaleza), cada uno de los cuales es muy compuesto. II) Algunos de los individuos que componen el cuerpo humano son fluidos; otros, blandos, y otros, en fin, duros. III) Los individuos que componen el cuerpo humano (y, por consiguiente, el cuerpo humano mismo) son afectados de muchísimas maneras por los cuerpos exteriores. IV) El cuerpo humano necesita, para conservarse, de muchísimos otros cuerpos, y es como si éstos lo regenerasen continuamente. V) Cuando una parte fluida del cuerpo humano es determinada por un cuerpo externo a chocar frecuentemente con otra parte blanda, altera la superficie de ésta y le imprime una suerte de vestigios del cuerpo externo que la impulsa. VI) El cuerpo humano puede mover y disponer los cuerpos exteriores de muchísimas maneras”. En relación al cuerpo define el alma: “El objeto de la idea que constituye el alma humana es un cuerpo, o sea, cierto modo de la extensión existente en acto, y no otra cosa”.

Contra la partición cartesiana se pronunciaron numerosos científicos y filósofos. De entre los primeros, el químico George Stahl rechazaba la pretensión de reducir los organismos carentes de mente a mecanismos autómatas. En el polo opuesto, el filósofo Thomas Hobbes encabeza la lista de quienes abogan por una sola naturaleza, física; describía el pensamiento como “movimientos en torno a la cabeza” y las emociones, como “movimientos en torno al corazón”. Con mayor hondura, Gottfried Leibniz introducía leyes teleológicas, vinculadas a la acción del alma. Pero el interés por acotar las bases físicas de las funciones mentales no decayó. Hermann Boerhaave situó la fuente de los procesos mentales en los hemisferios cerebrales y, en el cerebelo, la fuente de la estimulación nerviosa autónoma. Cuando el dualismo cartesiano parecía desvanecerse por la fuerza materialista del Barón d'Holbach, el surgimiento del vitalismo le concede nuevo auge con la noción matriz de sensibilidad, normal o patológica, y la apreciación de fenómenos como el sonambulismo y las enfermedades crónicas como la histeria, cuyas causas, amén de orgánicas, se suponían también mentales.

Al situar al hombre en el mismo proceso evolutivo que el resto de los animales, la teoría darwinista se suma a los que, desde el positivismo, venían rechazando cualquier tipo de dualismo (*Neuroscience and the Person*). Entrañados en el reino animal, según ratifica la genética molecular, compartimos un tronco filogenético, más o menos ramificado, más o menos diversificado, con homínidos que han ido adquiriendo, en el curso de la evolución, habilidades cada vez más complejas, facultades de creciente perfección. La aparición de la inteligencia, de la mente, pasa a primer plano. ¿Eran humanos los primeros homínidos o hubo que esperar al hombre moderno? El método científico nos obliga a tomar con todas las reservas las conclusiones harto precipitadas que ciertos pri-

matólogos, paleoantropólogos y arqueólogos acostumbra extraer de pruebas sueltas y sesgadamente interpretadas sobre las capacidades lingüísticas, sociales y culturales de otros taxones.

Asociada ya la mente al cerebro, el progreso de la neurología no ha logrado zanjarse la vieja cuestión dualista. Reviven viejos enfrentamientos. Así Hobbes se perpetúa en el epifenomenalismo, fiscalismo. De acuerdo con esta teoría, la vida mental consciente es un producto secundario de los procesos cerebrales. Afirmación que se retuerce, desde el otro flanco: ¿por qué va a ser menos problemática una causación de lo físico a lo mental que una causación de lo mental a lo físico? Se trata, de nuevo, del tenaz salto en el vacío de que habla Kutschera en otro lugar de la revista.

Frontispicio del “*Système de l'âme*” (1664) de Marin Cureau de la Chambre, médico personal de Luis XIV. El alma aparece representada por una mujer, porque su función principal consiste en “concebir”. Sostiene un espejo porque ve todas las cosas a través de imágenes y ella misma es un espejo en el que está representado todo el universo



La corriente fiscalista admite grados. (Eludimos el término materialista por ser ajeno a la ciencia.) La postura más radical, conocida por conductismo lógico, tiene a Gilbert Ryle por epígono sobresaliente; sostiene que la mente no es más que una palabra vacua, carente de significado; por tanto, el problema mente-cerebro sería un falso problema. Para otros, los fenómenos mentales tendrían entidad, pero serían expresiones refinadas de los procesos cerebrales; por ejemplo, aceptar la proposición *p* guardaría una relación de identidad exacta con determinado recorrido de un circuito cerebral. En puridad, los conceptos serían excitaciones nerviosas; los juicios y deducciones, leyes fisiológicas. De este modo, la epistemología y la psicología se reducen a neurología.

En toda reducción de una ciencia a otra, se exige una equiparación absoluta de los conceptos y leyes puente que expliquen el tránsito de la disciplina subordinada a la subordinante. Ahora bien parece obvio que, cuando hablamos de mente y cerebro, tal equivalencia no existe. Para los fiscalistas no existe, de momento; para otros no se dará nunca, tal es el abismo que media entre una idea y una neurotransmisión química.

Para salir de esa aporía, muchos buscan vías de convergencia.

Desde el campo de las neurociencias se avanza en los procesos biológicos implicados en la memoria, la emoción y la motivación, el comportamiento social y el lenguaje. Se reconoce, sin embargo, que no les pertenece dirimir entre lo justo y lo injusto, por ejemplo, aun cuando las neurociencias tengan mucho que decir sobre la toma de decisiones o la empatía. Catalogar a una acción moral de justa pertenece a la mente; el gozo que acompaña a su ejecución presenta un obvio componente cerebral (recompensa).

A este respecto, distinguen los neurólogos entre emociones y sentimientos, entre respuestas fisiológicas y respuestas conscientes. En las emociones inter-

vienen, sobre todo, la amígdala y el hipocampo. Depende, por supuesto, del tipo de emoción. No es lo mismo el miedo que los celos; los últimos demandan un entramado neural más complejo. Sobre las emociones y sentimientos se extiende Damasio. Según expone, la emoción precede al sentimiento. Para él, las emociones son acciones o movimiento, muchos de ellos públicos, visibles para los demás en el rostro, en la voz, en comportamientos específicos; en algunos casos, se nos patentizan a través de ensayos endocrinos o patrones de ondas electrofisiológicas. Los sentimientos, por contra, están siempre escondidos, lo mismo que las imágenes mentales, sólo percibidas por el propio sujeto. No son una mera coloración de las emociones, sino revelaciones del estado de vida del organismo entero, expresiones de la lucha por el equilibrio. La idea de equilibrio desempeña, en efecto, un papel central en la descripción de este autor.

En torno al concepto de homeostasis trenza la evolución, complicación y organización del sujeto, que representa por un árbol. En las raíces encontramos los componentes químicos y mecánicos encargados de mantener el equilibrio del quimismo interno. Observamos las reacciones que gobiernan el ritmo cardíaco y la presión sanguínea, ajustes de acidez y alcalinidad, la síntesis de macromoléculas (proteínas, lípidos e hidratos de carbono). Muy cerca brotan las ramas de los reflejos básicos, así el de sobresalto en reacción ante un ruido o rozamiento, las de los tropismos y tactismos. Advertimos en seguida la formación de un sistema inmunitario, para defenderse de las bacterias, parásitos y moléculas tóxicas que invaden desde el exterior al organismo, así como de los productos de desecho internos. En un plano medio se asientan los comportamientos relacionados con el placer (o recompensa) y dolor (o castigo). Ascendiendo en la escala aparecen impulsos y motivaciones: hambre, sed, curiosidad y exploración, juego y el sexo. Ya en la copa, la perfección de la regulación automatizada, las emociones: ale-



Baruch Spinoza (1632-1677)

gría, tristeza, miedo, orgullo, vergüenza y simpatía. Coronándolo todo, los sentimientos.

El mundo de los sentimientos nos lleva a la cuestión sobre los límites de la naturalización de los estados mentales. ¿Cómo conozco las intenciones del otro? Los ensayos para discernirlo se hicieron con monos. El sistema neuronal que uno emplea para detectar las intenciones de otros agentes forma parte del sistema neuronal que genera las propias intenciones. En los primates se ha demostrado la existencia de poblaciones neuronales que selectivamente codifican posturas y movimientos realizados por individuos de su propia especie. Buena parte de esta población de neuronas se solapa con las que intervienen en la generación del propio movimiento del mono. La misma suerte de solapamiento de la función se sugiere en estudios tomográficos PET en humanos. Cuando a los individuos del ensayo se les pidió que se fijasen en una acción para imitarla, se activaron partes de la corteza motora, lo que no sucedía cuando se les rogaba que se fijaran sólo con el propósito de reco-

nocerla más tarde. Ahora bien, tener una representación neural de una intención y atribuírmela a mí son dos procesos diferentes, que no se hallan automáticamente asociados. Además, cada sujeto es uno e irrepetible. No hay dos individuos que compartan siempre las mismas experiencias, lo que significa que no hay dos estados neurales globales de la gente que sean siempre los mismos.

En este empeño por buscar nuevos enfoques, algunos postulan la teoría del esquema. A tenor de la misma, el individuo constituiría una enciclopedia de esquemas. Dispondría de esquemas para el reconocimiento de los objetos, para la planificación y control de las acciones, así como para operaciones más abstractas. La vida mental y el comportamiento resultarían de la interacción dinámica, la cooperación y la competición de muchos tipos de esquemas.

Otros parten de la filosofía y discrepan de esa representación mereológica (de partes o agregados). Así, separan las “leyes de la naturaleza”, es decir, las regularidades, relaciones y procesos que rigen en el mundo orgánico, de “nuestras leyes de la naturaleza”, que remiten a nuestros modelos provisionales, incompletos e imperfectos de tales regularidades. En algunas ciencias, nuestros modelos ofrecen una exposición bastante adecuada de las regularidades y relaciones reales; de otras carecemos de modelos solventes. En particular, la modelización de los procesos mentales y sus relaciones con los procesos cerebrales parece problemática debido al carácter subjetivo y holístico de los fenómenos mentales. De hecho, no está claro todavía qué reputar un modelo adecuado para explicar lo mental en términos de procesos cerebrales. Con otras palabras, si los acontecimientos mentales se hallaran intrínsecamente relacionados con los acontecimientos neurales, ¿cómo puede ser que los contenidos de los acontecimientos mentales no estén regulados por las leyes de la neurobiología? La cuestión sigue abierta.

LUIS ALONSO

