

# Mente y cerebro

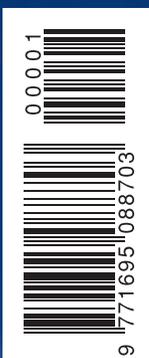
Nº 1/2002  
6,5€

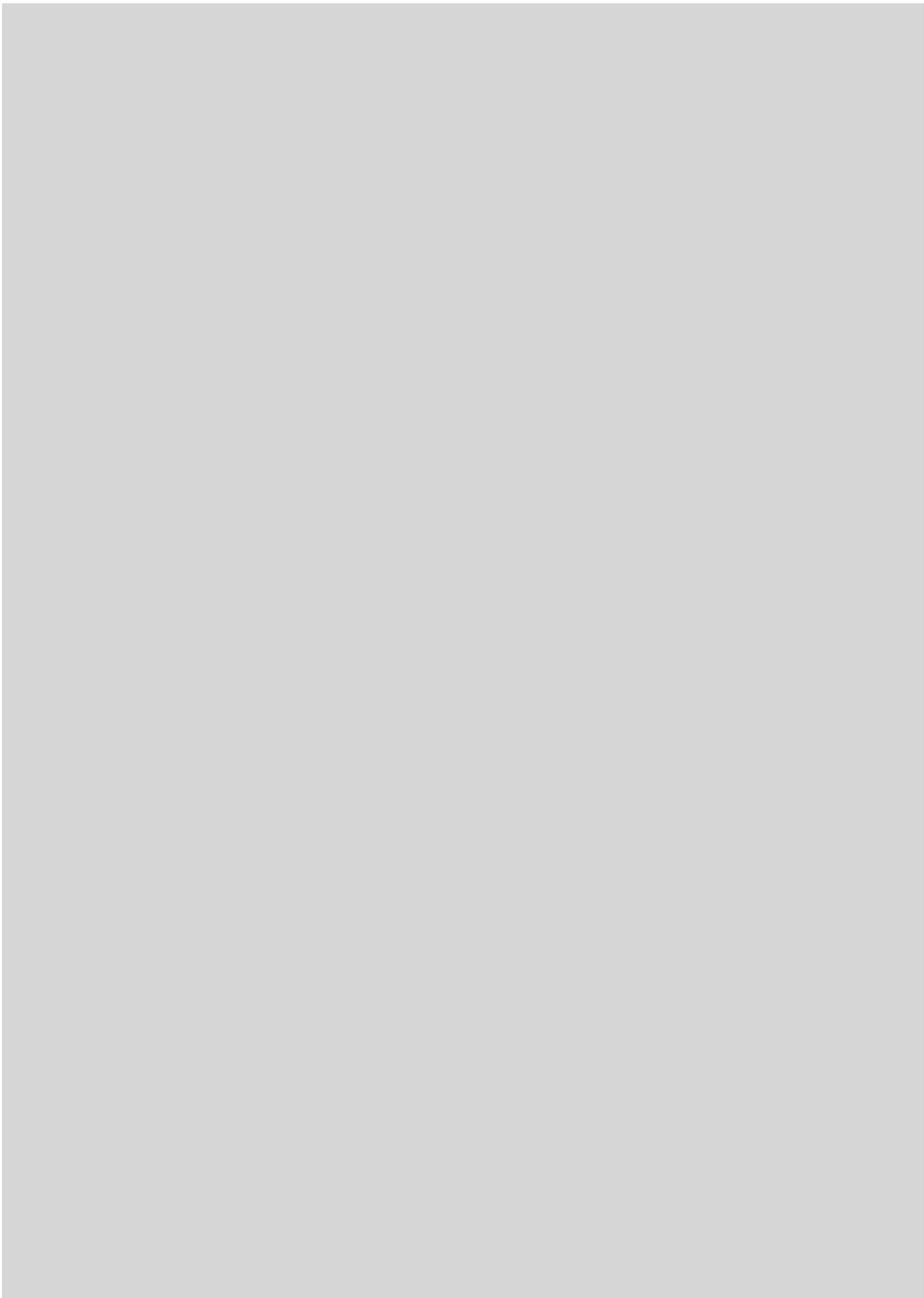
INVESTIGACION  
CIENCIA

- **Psicología de la persuasión**
- **Percepción musical**
- **Memoria de la mosca**
- **Desarrollo cerebral en el espacio**

## Conciencia y libre albedrío

4º trimestre 2002





## PRESENTACION

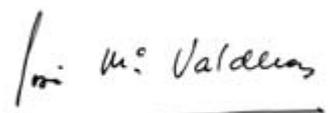
**D**os envites de grueso calibre tiene ante sí la ciencia contemporánea. A saber, la interpretación de la mecánica cuántica y el funcionamiento del cerebro. Si importante la primera para conocer el mundo, sobran ponderaciones para resaltar el segundo, que a cada uno nos atañe. Conocerse a sí mismo, imperativo ético en su origen, entraña una tarea investigadora cuyos resultados trascienden el marco estrictamente científico para influir en campos más humanísticos. A cada paso que ha ido dando la investigación experimental, desde la neurología originaria hasta su ramificación actual en una fronda de neurociencias, la filosofía ha vuelto a plantear las mismas cuestiones inveteradas y controvertidas: ¿qué es la persona? ¿Qué la conciencia y el libre albedrío? ¿Qué las emociones y sentimientos?

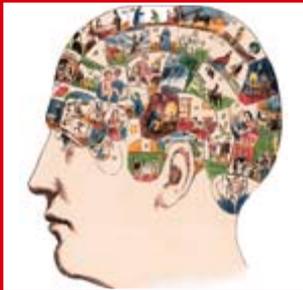
**A**nte su apariencia anodina, hecho de grasa en un 60 por ciento, nadie diría a primera vista que el cerebro desempeña alguna función crucial en el organismo o que pudiera procesar la información con una rapidez que ningún ordenador ha alcanzado. Además, se ha hecho con esa capacidad en el curso de la evolución biológica, con todo lo que ello supone de tanteo y redundancia. Pero empezamos a comprender cuando advertimos que dispone de unos 100 billones de unidades básicas de procesamiento, las neuronas, y que cada neurona establece contactos con otras 10.000. Atendiendo a los componentes lipídicos del encéfalo, los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y omega-6, tiende hoy la paleoantropología a delimitar el origen de la expansión del cerebro que llevó a la individuación de nuestra especie, no en las sabanas abiertas, abundantes en carne, sino en las orillas de lagos y mares, ricas en peces, huevos de aves acuáticas y moluscos. Atendiendo a su función procesadora, físicos, matemáticos e informáticos han creado modelos miméticos parciales; por ejemplo, retinas artificiales que replican la visión, implantes cocleares para sordos y estimuladores eléctricos para pacientes con parálisis muscular. ¿Llegarán, por esa vía, los robots a superar la creatividad humana? No parece,

salvo que llamemos inteligentes a los programas, lo que constituye un abuso del lenguaje. El lenguaje, que nos lleva al pensamiento en él encerrado, constituye, justamente, uno de los rasgos distintivos del hombre.

**M**ente y cerebro nace esperanzada en el país que alumbró a Santiago Ramón y Cajal y a Leonardo Torres Quevedo, hace ciento cincuenta años. Si al primero debemos el modelo de la estructura y función del sistema nervioso que sigue vigente, fue mérito del segundo anticiparse a la era de los autómatas que han cambiado la faz del mundo. En el rigor de ambos nos espejaremos para evitar falsas proclamas apodícticas —tan rotundas cuan infundadas— sobre nuestro yo, la inteligencia o las emociones. En este terreno, en el que los progresos pueden parecer de exasperante lentitud, no nos moveremos un ápice del sentir de Cajal: “En mi modesta obra, el trabajo ha suplido al talento, y el esfuerzo obstinado a la intuición genial. Incapaz de forjar esas hipótesis luminosas que parecen anticipaciones y presagios de ignotas realidades, he marchado siempre dócilmente detrás de los hechos, nunca o casi nunca delante. Los he interrogado para recoger fielmente sus respuestas, y me he abstenido en lo posible de dictáserlas de antemano”.

**E**n la singladura que hoy iniciamos no nos mueve otro fin que el de ofrecer al lector español e hispanoamericano los términos exactos de un campo del saber en cuyo avance la participación de nuestros científicos ha cumplido, y sigue cumpliendo, un papel muy digno. Contamos con su colaboración. Partimos de *Gehirn und Geist*, de espléndida acogida en el mundo alemán. En nuestra ventura, la experiencia acumulada en los más de veinticinco años de *Investigación y Ciencia* y, sobre todo, la exigente fidelidad de sus lectores, habrán de facilitarnos la tarea, al par que nos animan a emprenderla.

  
José María Valderas



12

## Bases nerviosas de la conciencia

*Gerhard Roth*

Los extraordinarios avances de la investigación cerebral no se detienen ni siquiera ante uno de los últimos grandes enigmas de la humanidad: la conciencia. Sobre este tema, campo reservado desde siempre a la filosofía, tiene mucho que aportar la investigación científica.



22

## Poderes invisibles

*Arnd Florack y Martin Scarabis*

¿A qué se debe que caigamos una y mil veces en las redes del maravilloso mundo de la publicidad? ¿Cuál es la clave del éxito de los seductores encubiertos? ¿Por qué somos tan vulnerables a sus estrategias?

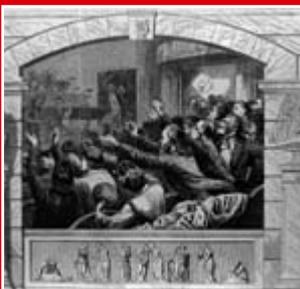


32

## La memoria de la mosca

*Raphäel Hitier, Florian Petit y Thomas Prémat*

Con su cerebro minúsculo, la mosca del vinagre posee una memoria notable, que sirve de modelo para la investigación de la humana. Se conocen ya los genes implicados en el proceso rememorador y las proteínas por ellos determinadas.



48

## Neurología de la percepción musical

*Eckart Altenmüller*

¿Qué ocurre en nuestro cerebro cuando escuchamos los acordes de Johannes Brahms, Miles Davis o Elvis Presley? La investigación reciente pone de manifiesto que las personas perciben y procesan la música de formas muy distintas.



56

## Neurobiología del miedo

*Rüdiger Vaas*

De las sensaciones, las mejor comprendidas desde el punto de vista neurobiológico son el miedo y el temor. Ambas emociones básicas, imprescindibles para la supervivencia, pueden llevar a degeneraciones patológicas.



# 64

## Cerebro y libre albedrío

*Michael Pauen*

En la investigación del cerebro y la conciencia, las ciencias neurológicas y cognitivas avanzan de forma manifiesta. Ese progreso aporta nuevos planteamientos a cuestiones filosóficas de larga historia.



# 72

## El cerebro en el espacio

*Javier de Felipe*

Los vuelos espaciales producen cambios permanentes en los circuitos corticales de las ratas durante el desarrollo postnatal. ¿A qué se deben estas alteraciones? ¿Son patológicas o representan cambios plásticos para una mejor adaptación a un nuevo entorno?



# 82

## De la trepanación a la teoría de la neurona

*Robert-Benjamin Illing*

Hasta llegar al momento fascinante que viven las neurociencias contemporáneas el hombre recorrió un largo camino de tanteos e hipótesis cuyos primeros pasos se dieron en tiempos prehistóricos.

## SECCIONES

### RETROSPECTIVA

**6** El punto de partida de la obra neurohistológica de Cajal.

### ENCEFALOSCOPIO

**8** Rastreado la cocaína. Protegerse la cabeza. De la fantasía, el nombre. Raíces cerebrales del tartamudeo. Raíces genéticas del retraso mental. Mayor protagonismo (paradójico) para los astrocitos. El lenguaje, propiedad distintiva. Regeneración de las neuronas: la culpa de los inhibidores. Regeneración de las neuronas: la culpa del desarrollo. Apnea y libido. Genética del miedo. Cerebro de hombre, cerebro de ratón. Cantar y oír. Memoria selectiva. La conciencia en números. Piedra miliar. Hacer y bien hacer.

### MENTE, CEREBRO Y SOCIEDAD

**39** Rescate desde el estadio. El reposo activo del cerebro. Memoria y aprendizaje en las ratas. La muerte celular en el cerebro.

### ENTREVISTA

**46** **¿Robots con autoconocimiento?**  
Entrevista a Thomas Christaller, profesor del Instituto Fraunhofer para Sistemas Inteligentes Autónomos en Sankt Augustin, Bonn.

### SYLLABUS

**90** **¿A qué llamamos memoria artificial?**  
Estructuras muy sencillas pueden presentar memoria y capacidad de recuerdo.

### LIBROS

**92** Filosofía científica.  
De Kant a Gödel

### ENSAYO FILOSÓFICO

**96** Lógos  
y Theoría

# Mente y cerebro

## DIRECTOR GENERAL

José M.<sup>a</sup> Valderas Gallardo

## DIRECTORA FINANCIERA

Pilar Bronchal Garfella

## EDICIONES

Juan Pedro Campos Gómez

## PRODUCCIÓN

M.<sup>a</sup> Cruz Iglesias Capón  
Bernat Peso Infante

## SECRETARÍA

Purificación Mayoral Martínez

## ADMINISTRACIÓN

Victoria Andrés Laiglesia

## SUSCRIPCIONES

Concepción Orenes Delgado  
Olga Blanco Romero

## EDITA

Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona (España)  
Teléfono 934 143 344 Telefax 934 145 413  
www.investigacionyciencia.es

## 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

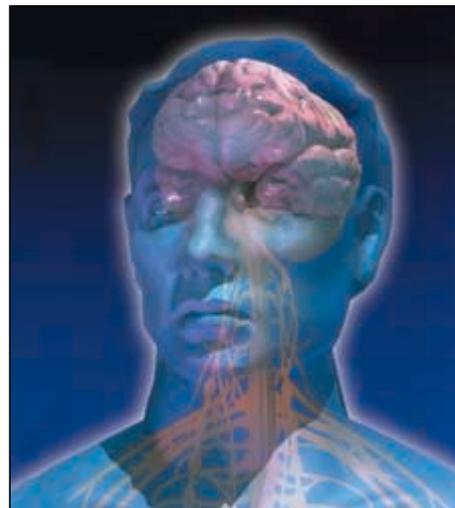
### GESCHAFTSLEITUNG:

Dean Sanderson, Markus Bossle

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:

FRANCESC ASENSI: *Bases nerviosas de la conciencia y Syllabus*; JUAN AYUSO: *Poderes invisibles y Neurobiología del miedo*; SIGRID BAARS Y STEPHAN SPEICHER: *La memoria de la mosca*; DAVID BARBERO: *Rescate desde el espacio*; JOSÉ MANUEL GARCÍA DE LA MORA: *El reposo activo del cerebro*; DIANA ESTÉVEZ: *Neurología de la percepción musical*; ANTONIO PREVOSTI MONCLÚS: *Cerebro y libre albedrío y Entrevista*; ANGEL GONZÁLEZ DE PABLO: *De la trepanación a la teoría de la neurona*.



Portada: Linda S. Nye / Mauritius

## DISTRIBUCION

### para España:

#### LOGISTA, S. A.

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

### para los restantes países:

#### Prensa Científica, S. A.

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

## PUBLICIDAD

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

### Cataluña:

#### QUERALTO COMUNICACION

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

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

Copyright © 2002 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> 08021 Barcelona (España)

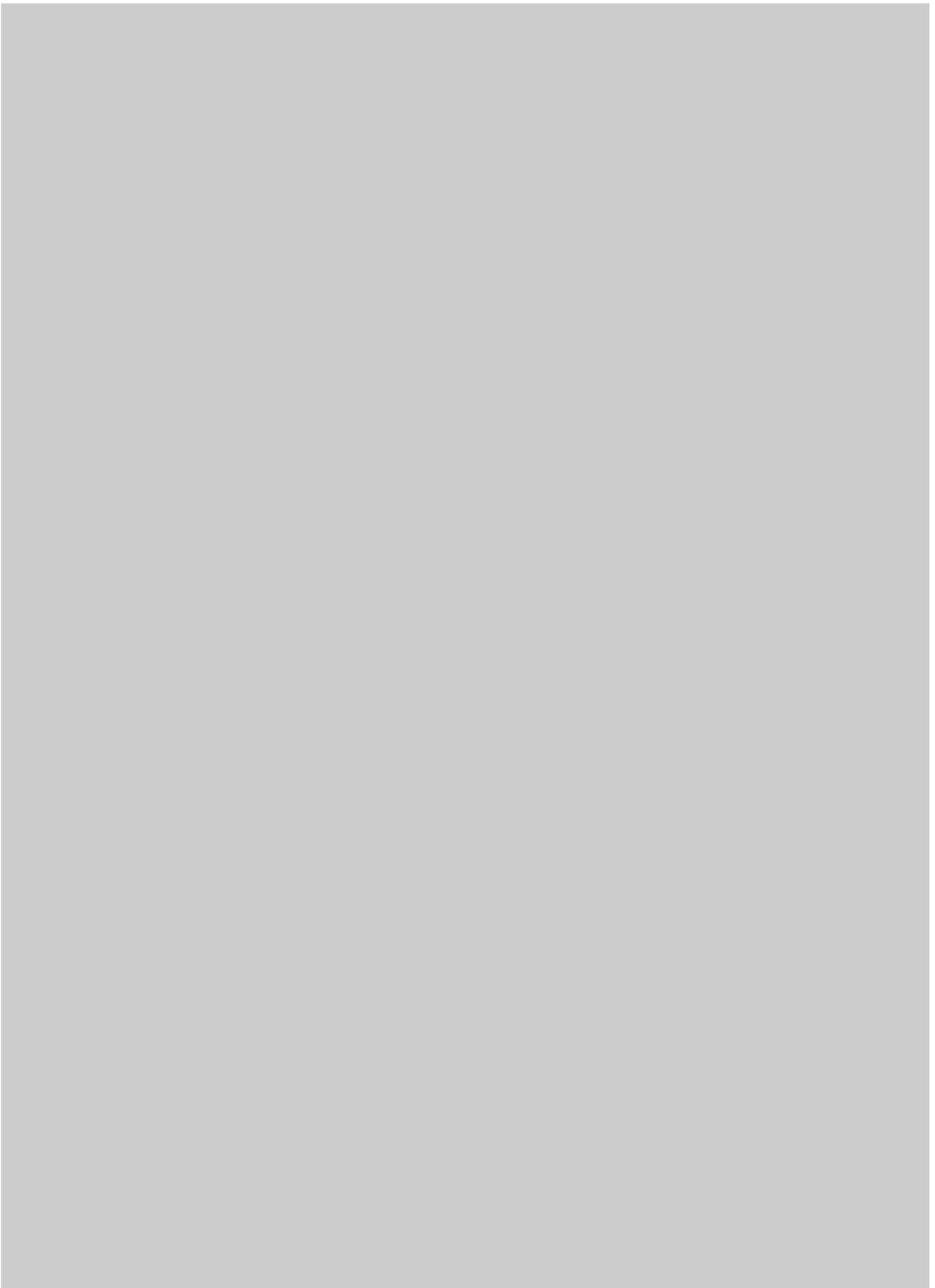
Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista.

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



## RETROSPECTIVA

# El punto de partida de la obra neurohistológica de Cajal

Cuatro años en la Universidad de Valencia (1884–87)

José María López Piñero

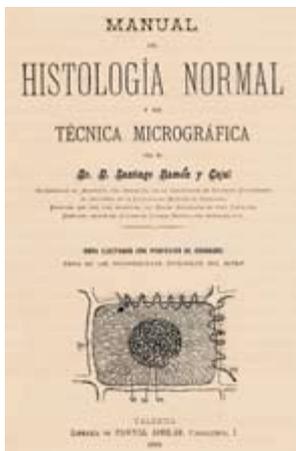
Como todas las “grandes figuras”, Cajal sufre una mitificación falseada. Sigue afirmándose que fue autodidacta, a pesar de la forma emocionada y generosa en la que reconoció el magisterio de Aureliano Maestre de San Juan y de Luis Simarro. Las personalidades que se limitan a prodigarle elogios retóricos han llegado a decir, con total carencia de información, que “surgió por generación espontánea” o que fue un “milagro” en un país ajeno a la ciencia. Frente a estos tópicos triviales, la investigación histórico-médica está realizando un detenido análisis de las sucesivas etapas de su actividad científica. Los cuatro años en los que fue catedrático de la Universidad de Valencia corresponden al punto de partida de su obra neurohistológica.

Cajal ganó el 5 de diciembre de 1883 las oposiciones a una de las dos cátedras de anatomía de la facultad de medicina de Valencia. La memoria que había redactado, con el título reglamentario de *Concepto, método y programa de anatomía descriptiva y general*, es indispensable para conocer las ideas que le sirvieron de base para iniciar su obra. Era ya entonces plenamente consciente de las limitadas posibilidades que ofrecía la

anatomía descriptiva. Sobre unos supuestos epistemológicos todavía imprecisos, había descubierto los objetivos de otras vertientes más ambiciosas de la morfología. El conocimiento del evolucionismo y de los estudios comparados había contribuido a modificar su mentalidad, pero su interés estaba ya centrado en la histología. Su condición de fiel discípulo de Maestre se refleja en la estructuración de la anatomía microscópica que defendió en la memoria: “A pesar del orden de exposición seguido por Frey, Kölliker, Krause y otros, nosotros seguiremos el que indica el Dr. Maestre de San Juan en su tratado, por creerlo el más científico y el más lógico”.

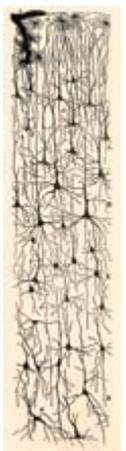
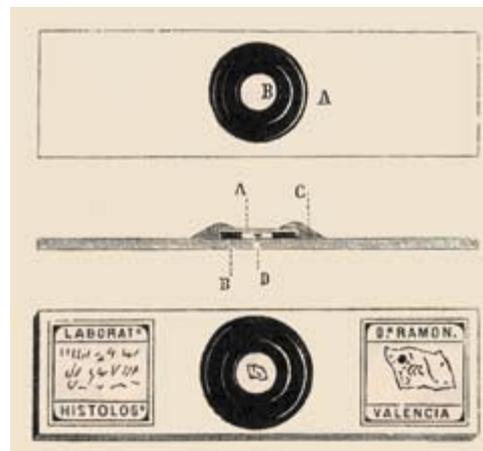
El claustro valenciano al que se incorporó era seguidor de la nueva medicina basada en la investigación experimental. Citaremos únicamente dos profesores por su relación directa con el inicio de la obra de Cajal. Peregrín Casanova, discípulo de Haeckel e introductor del darwinismo en la enseñanza morfológica española, ocupaba la otra cátedra de anatomía. En varios artículos y en el libro *La biología general* (1877) había destacado que la histología, tras una fase descriptiva, se encontraba en otra explicativa, sobre todo mediante la ley biogénica, que Cajal convertiría en uno de los principales fundamentos de su

investigación neurohistológica. José Crous Casellas, catedrático de patología médica, había impartido el primer curso universitario español sobre neurociencias, cuyas lecciones recogió en un *Tratado elemental de anatomía y fisiología normal y patológica del sistema nervioso* (1878). Sus figuras sobre la médula espinal, el cerebelo y la corteza cerebral merecen ser comparadas con las ilustraciones de los trabajos de Cajal diez años después, como reflejo del decisivo avance que éstos significaron. Cajal publicó su primer artículo (1884) en la revista de Crous *Las Ciencias Médicas*. La Facultad había celebrado en 1873 un “claustro en favor de la histología”, que elevó una protesta al gobierno porque se hubiera dotado únicamente la cátedra madrileña de la disciplina. Se expuso que, a partir de los años sesenta, se daban prácticas obligatorias con “el uso del microscopio en las lecciones de histología” y se utilizaba el examen histopatológico de las piezas operatorias en los servicios hospitalarios de medicina interna, cirugía y ginecología. En relación con la micrografía, se destacaron los libros de dos de sus profesores: los compendios anatómicos que José María Gómez Alamá había publicado desde 1867 hasta 1872 y las monografías sobre la inflamación



1. PORTADA DEL PRIMER fascículo del *Manual* (1884).

2. PORTAOBJETOS con etiqueta del laboratorio de Cajal en Valencia. Grabado del primer fascículo del *Manual* (1884).



de León Sánchez Quintanar (1861 y 1871). Por último, se dio noticia de los laboratorios “de histología e histoquímica con los microscopios más perfeccionados”. Dichos laboratorios los dirigía Elías Martínez Gil, cuya excepcional competencia técnica condujo a que fueran premiadas las preparaciones que, en nombre de la Facultad, presentó en la Exposición Universal de París (1867) y en la de Viena (1873). Cajal conocía muy bien la labor de Gómez Alamá y Sánchez Quintanar porque su padre, que estudió medicina en Valencia, los había tenido en el tribunal de licenciatura, como ha demostrado recientemente la documentación publicada por F. Vera Sempere. Ambos son ejemplos típicos de los médicos que, con su esfuerzo personal, consiguieron superar el total hundimiento de la actividad científica española durante el primer tercio del siglo XIX. En su caso, reanudaron la tradición de la cátedra de anatomía de Valencia, una de las primeras de Europa (1501), que contaba con un “microscopista clásico” de la talla de Crisóstomo Martínez (1638-c. 1694).

Plenamente integrado en este ambiente, Cajal se sintió atraído por la bacteriología, la psicoterapia y la anatomía comparada filogenética, a pesar de lo cual se dedicó a la histología. Con su proverbial tenacidad, acometió la verificación sistemática de la disciplina con observaciones micrográficas propias. La aparición de su *Manual de Histología* en ocho fascículos desde 1884 a 1888 permitió que se fuera manifestando el profundo cambio que su preparación científica experimentó a lo largo del lustro. En el primer fascículo, la orientación dominante era todavía la procedente de Maestre y de la escuela parisina de Louis A. Ranvier, aunque ya tenían cierto peso las alemanas. Estas fueron creciendo en importancia a partir de los capítulos so-

bre citología, que los basó principalmente en las aportaciones de Walther Flemming. En los dos últimos fascículos, dedicados, entre otros temas, al sistema nervioso, expuso ya sus importantes hallazgos iniciales de investigador original. Publicó, además, diez “notas de laboratorio” en *La Crónica Médica* y el *Boletín del Instituto Médico Valenciano* y veintisiete capítulos de un amplio diccionario médico, también editado, como las revistas, por el grupo experimentalista valenciano al que pertenecía. Las traducciones al francés de tres “notas” fueron sus primeros trabajos publicados en el extranjero, concretamente en la revista que dirigía Wilhelm Krause.

Cajal iba muy pronto a encontrar el camino que conduciría a su gran obra científica. En 1887 fue nombrado miembro de un tribunal de oposiciones a cátedra y residió unos días en Madrid, que aprovechó para visitar los principales laboratorios micrográficos. Estuvo, por supuesto, en el de Maestre, a quien pocos meses después dejaría ciego un desgraciado accidente de laboratorio. No obstante, la visita que influyó decisivamente en su trayectoria científica, decidiéndole a consagrarse a la investigación histológica del sistema nervioso, fue la que realizó al laboratorio de Luis Simarro. “Debo a L. Simarro, el afamado psiquiatra y neurólogo de Valencia —afirmó luego en sus *Recuerdos*— el inolvidable favor de haberme mostrado las primeras buenas preparaciones con el proceder del cromato de plata, y de haber llamado la atención sobre la excepcional importancia del libro del sabio italiano, consagrado a la inquisición de la fina estructura de la sustancia gris. Merece contarse el hecho, porque sobre haber tenido importancia decisiva en mi carrera, demuestra una vez más la potencia vivificante y dinámogena de las cosas vistas”. Cajal se refería, por supuesto, a

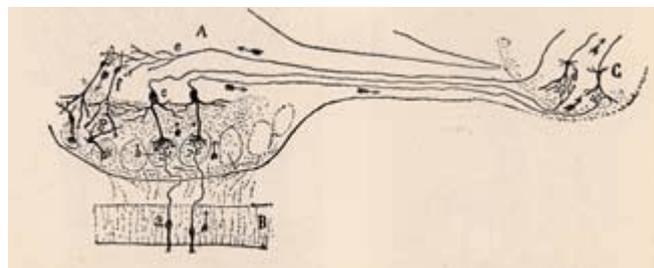
Camillo Golgi —con quien compartiría en 1906 el premio Nobel de medicina—, a su tratado *Sulla fina anatomia degli organi centrali del sistema nervoso* (1886) y a su método de impregnación cromoargéntica, primera técnica que permitió teñir de modo preciso y selectivo las células nerviosas y sus prolongaciones. “A mi regreso a Valencia —continúa diciendo en sus *Recuerdos*— decidí emplear en grande escala el método de Golgi y estudiarlo con toda la paciencia de que soy capaz. Innumerables probaturas, hechas por Bartual y por mí, en muchos centros nerviosos y especies animales, nos convencieron de que el nuevo recurso analítico tenía ante sí brillante porvenir”. Estos ensayos con su discípulo Juan Bartual Moret quedaron interrumpidos por su traslado, el 2 de noviembre de aquel mismo año, a la cátedra de histología de Barcelona, única que dotó entonces la organización centralista universitaria.

Cajal se mantuvo vinculado al grupo de médicos experimentalistas de Valencia en el que tan plenamente se integró. Ello explica que el año 1889 publicara en el *Boletín del Instituto Médico Valenciano* tres trabajos cruciales: “Coloración por el método de Golgi de los centros nerviosos”, “Nota preventiva sobre la estructura de la médula embrionaria” y “Nuevas aplicaciones del método de coloración de Golgi”. En julio de 1891 expuso por vez primera la ley de la polarización dinámica de las neuronas —una de sus aportaciones teóricas más importantes— en una comunicación al Primer Congreso Médico-Farmacéutico Valenciano, que se publicó después en sus actas. La tituló “Comunicación acerca de la significación fisiológica de las expansiones protoplasmáticas y nerviosas de las células de la sustancia gris” y se considera actualmente un texto clásico fundamental de las neurociencias.

**4.** PAGINA INICIAL de la primera de las diez “notas de laboratorio” publicadas por Cajal en Valencia (1885).



**3.** “CELULA PIRAMIDAL superficial de la circunvolución frontal ascendente del *Cercopithecus*”. Grabado del último fascículo del *Manual* (1888).



**5.** “ESQUEMA DE LOS EMPALMES CELULARES de la mucosa olfatoria, bulbo olfactorio, tractus y lóbulo olfactorio del cerebro. Las flechas indican la dirección de la corriente”. Figura 1ª de la comunicación de Cajal al Primer Congreso Médico-Farmacéutico Valenciano (julio de 1891).

# ENCEFALOSCOPIO

## Rastreando la cocaína

Por su fina sensibilidad y exigente selectividad, con frecuencia creciente se recurre a las biomoléculas para construir sensores empleados en la detección de fármacos y explosivos. No basta, sin embargo, que el sensor reconozca y se enlace con la molécula deseada. Se requiere, además, que de su interacción tengamos noticia perceptible, en lo posible un cambio de color. Se sabía que el aptámero, un oligonucleótido, mostraba especial inclinación por unirse a la cocaína. Stojanovic y Landry han creado un sensor formado por aptámero y colorante. Al añadirse cocaína al compuesto, aquélla desplaza al colorante. Las autoridades podrían disponer, así, de un instrumento fiable de detección en su lucha contra el tráfico de la droga.



*Erythroxylon coca* Lam.



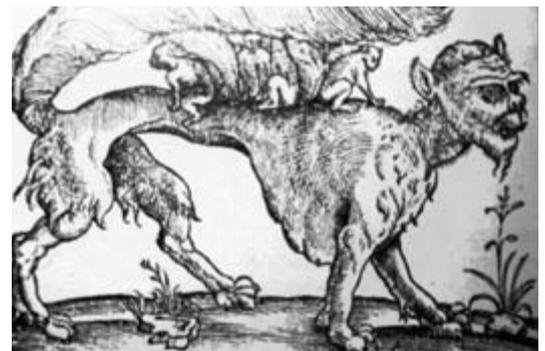
## Protegerse la cabeza

El casco militar tiene una larga historia que podemos recorrer en las salas de escultura de los museos. Durante los siglos XIII y XIV la infantería italiana utilizó uno muy elaborado, la *cervelliera*, para defenderse de los golpes mortales de la espada de la caballería. John Muendel (*Early Science and Medicine*, vol.7, n.º 2, 2002), que ha estudiado la manufactura de esa pieza metálica, destaca el cuidado puesto por los herreros en su forja y el extraordinario éxito comercial que alcanzó en la Europa de Dante.

*Sansón luchando contra los filisteos con la quijada de un asno. En el que se bate en retirada a la derecha se advierte la cervelliera. (Detalle de Maciejowski Bible, ca. 1250.)*

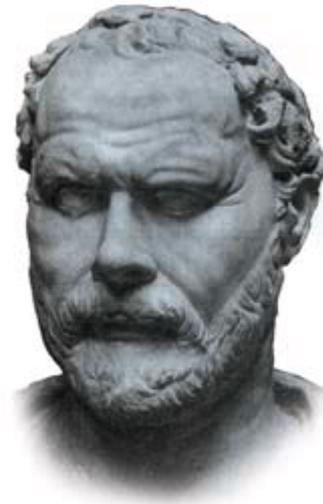
## De la fantasía, el nombre

Donde la ciencia no llegaba, la imaginación creó seres fantásticos. Carolus Linnaeus se propuso limpiar del jardín de la naturaleza plantas y animales imaginarios. Así lo afirmaba categóricamente en la sexta edición de su *Systema naturae*, aparecida en 1748. En ese empeño se rectificaba a sí mismo. En todas las ediciones del *Systema* estableció tres reinos de la naturaleza: “piedras, que crecen; plantas, que crecen y viven; y animales, que crecen, viven y sienten”. En las primeras —desde la inicial de 1735—, sin embargo, incluía los “Paradoxa”, grupo donde hallaban cobijo, entre otras bestias monstruosas, la hidra y el escarabajo de la muerte. De algunos mantuvo el nombre. Así, “Pelecanus” para un ave, “Hydra” para un celentéreo y “Draco” para un reptil.



## Raíces cerebrales del tartamudeo

**T**artamudo dicen que fue Demóstenes, maestro de oratoria. Alfred Adler lo tomó incluso para ejemplificar su idea del “complejo de inferioridad orgánico”. La investigación prosopográfica, sin embargo, se inclina por acotar el defecto del heleno a una pronunciación incorrecta de ciertos sonidos y a una falta de aire, es decir, a una respiración dificultosa, clavicular. La raíz genuina del tartamudeo parece hallarse en la materia blanca que une las estructuras cerebrales implicadas en el movimiento de la lengua. En el ensayo esclarecedor que acometió recientemente el grupo encabezado por Christian Büchel, de la Universidad de Hamburgo, participaron 15 individuos tartamudos y otros 15 de habla suelta. Ambos grupos tenían en común la edad y ciertas cualidades. Para cartografiar el mapa de los cerebros respectivos, los neurólogos alemanes se valieron de la técnica de formación de imágenes por tensor de difusión, capaz de registrar detalles finísimos de la materia blanca: fibras nerviosas, rodeadas por mielina, que constituyen en torno al 90 por ciento del cerebro. Observaron en el camino que las fibras situadas en la zona izquierda del cerebro, adyacente al opérculo de Rolando, se hallaban un 30 por ciento más relajadas en los tartamudos.

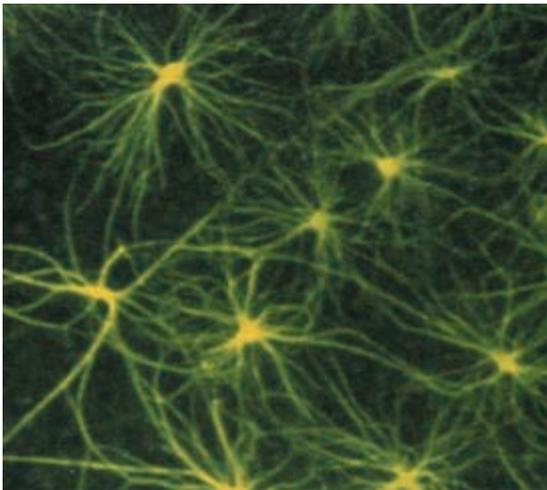


Demóstenes (Museo Nacional, Roma).

## Raíces genéticas del retraso mental

**E**n la regulación de la presión sanguínea y en el balance electrolítico, AGTR1, un receptor de la angiotensina II, cumple una función decisiva. Menos conocida era la misión que desarrolla otro receptor de dicha proteína, el AGTR2, que se expresa en el cerebro, aunque no sólo allí. De ahí la expectación que ha despertado el descubrimiento que convierte su gen determinante (AGTR2) en el promotor del retraso mental asociado al cromosoma X. De la obscuridad el receptor ha pasado a ser un presumible responsable del desarrollo cerebral vinculado con la función cognitiva.

ción que ha despertado el descubrimiento que convierte su gen determinante (AGTR2) en el promotor del retraso mental asociado al cromosoma X. De la obscuridad el receptor ha pasado a ser un presumible responsable del desarrollo cerebral vinculado con la función cognitiva.



## Mayor protagonismo (paradójico) para los astrocitos

**L**os astrocitos son las células estrelladas del sistema nervioso central. Se les ha venido otorgando una función ancilar, de mero soporte de las neuronas. Comienzan, sin embargo, a aparecer nuevas tareas de los mismos; por ejemplo, en la regulación del desarrollo. De acuerdo con un estudio reciente sobre los factores que controlan el destino final de las células del tallo, los astrocitos del hipocampo pueden instruir la formación de neuronas. Lo que no deja de resultar un tanto paradójico, si tenemos en cuenta que la mayoría de las neuronas se generan antes de que surjan los astrocitos.

Astrocitos procedentes del tejido de la retina de un gato.

## El lenguaje, propiedad distintiva

**E**l lenguaje es un rasgo exclusivo del hombre. Del mismo carecen, pues, los chimpancés y otros primates. Se basa en un control sutil de la laringe y la boca. El año pasado se descubrió un gen asociado con dicha facultad. Los miembros de una familia con una mutación puntual en el gen *FOXP2* tenían graves dificultades en la articulación y reflejaban también minusvalías en el lenguaje y en la gramática. Wolfgang Enard y otros investigadores, del Instituto Max Planck y de la Universidad de Oxford, han examinado los genes equivalentes en el chimpancé, gorila, orangután, macaco y ratón y los han comparado

con la versión humana. De ese cotejo se desprende que el gen *FOXP2* humano contiene dos cambios clave en la secuencia, que han operado en el curso de la selección. Tales cambios podrían condicionar nuestra capacidad de controlar los movimientos faciales y, por tanto, desarrollar un lenguaje. La variante génica que posibilitó el lenguaje podría haberse propagado entre la población a lo largo de los últimos 200.000 años de la historia humana —en la época en que emergió el hombre moderno desde un punto de vista anatómico—, lo que sin duda se convertiría en una poderosa fuerza de expansión.



## Regeneración de las neuronas: la culpa de los inhibidores

Las neuronas se comunican entre sí a través de los axones y las dendritas, unas extensiones o procesos del citoplasma. En el curso del desarrollo, los axones y las dendritas siguen pautas de diferenciación distintas. En el individuo adulto, el daño nervioso producido por lesión o enfermedad suele afectar a los axones largos. De acuerdo con la doctrina común, no se regeneran los axones lesionados del nervio óptico, cerebro y médula espinal. Se ha venido atribuyendo esa incapacidad al entorno inhóspito que contiene proteínas inhibitoras del desarrollo; y en coherencia con esa idea, los esfuerzos para regenerar la estimulación del sistema nervioso central se han venido centrando en la modificación del medio. Entre los inhibidores identificados destaca Nogo, producido por las células mielinizantes. Otro, recién descubierto, es la glucoproteína OMgp.

*Esbozo de una sección cerebelosa.*

## Regeneración de las neuronas: la culpa del desarrollo

Pero merecía la pena preguntarse si los cambios adquiridos en el curso del desarrollo mermaban también la capacidad de las neuronas adultas de regenerar sus axones. Jeffrey L. Goldberg, Matthew P. Klassen, Ying Hua y Ben A. Barres han comprobado a este respecto que las células ganglionarias

retinianas posnatales de la rata no pueden promover el desarrollo de axones con la misma rapidez que sus análogas embrionarias, ni siquiera en los entornos más favorables. Queda así patente que el fracaso de la regeneración de los axones del sistema nervioso central del adulto no se debe sólo al entorno local, sino que constituye también una propiedad adquirida por el propio sistema.

## Apnea y libido

Del cuatro al nueve por ciento de los varones adultos padecen apnea del sueño y respiran mal mientras duermen. Su respiración se interrumpe hasta cientos de veces por la noche. Para algunos lo peor no es eso. Además del ruido molesto que acompaña al fenómeno, un equipo investigador

del Instituto Politécnico de Israel ha demostrado que los pacientes producen bastante menos testosterona que los varones que respiran con normalidad. Dicho de otro modo, su libido se resiente. ¿Mejoraría su apetito sexual una terapia que restableciera la respiración nocturna?

## Genética del miedo

Si no es fácil nunca vincular el fenotipo al genotipo, mucho menos resulta cuando se trata de manifestaciones de la conducta. Daniel Weinberger, del norteamericano Instituto Nacional de Salud Mental en Bethesda, acaba de demostrar que las personas con diferentes versiones de un mismo gen manifiestan pautas distintas de actividad cerebral en respuesta a estímulos emotivos, en cuyo proceso interviene de forma destacada la serotonina. El gen en cuestión, que determina una proteína encargada de devolver la serotonina a las neuronas, se presenta en dos versiones o alelos, que se distinguen por la longitud de su región promotora, es decir, por la extensión del segmento que controla la propia expresión del gen. Quienes llevan en su genoma el alelo corto, hasta un 70% de la población occidental, son más propensos a mostrar signos de ansiedad y miedo.



## Cerebro de hombre, cerebro de ratón

Muchas son las diferencias, y no sólo cuantitativas, que median entre el cerebro del hombre y el del ratón. Se acaba de comprobar que el neocórtex humano presenta dos linajes de neuronas GABAérgicas, de una de las cuales carece la estructura de los muridos. El alcance evolutivo de esa observación reviste sumo interés. El neurotransmisor GABA (siglas

con que se abrevia el ácido gamma-aminobutírico) es un inhibidor de las neuronas de circuito local. Cabe, pues, suponer que los cambios en la pauta de expresión de los factores de transcripción del prosencéfalo podrían guardar relación con los programas, peculiares de cada especie, atinentes a la creación de circuitos locales.



## Cantar y oír

**I**nsectos, ranas, aves y mamíferos emiten llamadas para atraer a sus parejas, avisar de depredadores merodeantes o una presa por el eco. Nosotros nos valemos también del lenguaje y del canto para fines múltiples. Un problema común de todos los animales que emiten señales acústicas es el de distinguir entre los sonidos propios y los externos. ¿Por qué no ensordecemos? En los humanos y otros vertebrados, las neuronas auditivas del cerebro se inhiben durante la vocalización, pero el mecanismo implicado no se conocía. Los experimentos en grillos cantores realizados por James F. A. Poulet y Berthold Hedwig revelan que el sistema auditivo está protegido ante una potencial desensibilización gracias a impulsos generados durante la producción de sonidos.

## Memoria selectiva

**L**a adquisición y almacenamiento de recuerdos negativos es un principio básico del sistema nervioso central que vemos confirmado en toda la escala animal. En ausencia de refuerzo, la respuesta conductual se va gradualmente apagando hasta terminar por extinguirse. El desvanecimiento paulatino de los recuerdos desagradables constituye, pues, una parte importante del procesamiento mnésico. Sin embargo, la ciencia no acababa de desentrañar el mecanismo responsable. Beat Lutz y otros han dado un paso adelante. De acuerdo con los resultados de su investigación, los receptores de cannabinoides y los cannabinoides endógenos, de cuya presen-

cia en el sistema nervioso central se sabía desde hace tiempo, desempeñan un papel importante en la remoción de los recuerdos frustrantes. (Ejemplos de sustancias cannabinoides son la marihuana y el hachís.) La extinción de ese tipo de memoria es una fase muy peculiar, que se sirve de un mecanismo distinto del empleado en la adquisición y consolidación de los recuerdos. De las observaciones realizadas parece desprenderse que el sistema cannabinoide endógeno podría ofrecer una diana para tratar las patologías asociadas con la retención de malos recuerdos, incluidos el trastorno de estrés postraumático y las fobias.

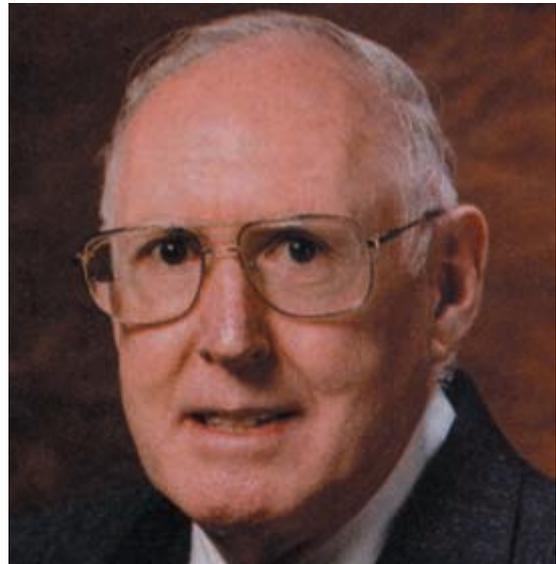
## La conciencia en números

**A**unque la forma en que opera la mente y en qué consista la conciencia son cuestiones abiertas, resulta tal su

atractivo que se han publicado la friolera de 30.000 artículos sobre la segunda en los últimos diez años.

## Piedra miliar

**H**ace escasos meses moría W. Maxwell Cowan (1931-2002), uno de los fundadores de la neurociencia moderna. Mediados los sesenta, se puso de manifiesto que las neuronas tenían un sistema especializado en transportar metabolitos de los cuerpos celulares a los terminales sinápticos. Cowan advirtió entonces que, si se introducían moléculas trazadoras en ese sistema, se obviarían muchas de las dificultades a las que se enfrentaba el conocimiento de las vías neuronales. Ideó un método de inyectar aminoácidos radiactivos en puntos específicos del cerebro, para así averiguar la distribución de las proteínas marcadas que acometía el transporte anterógrado, es decir, el que cursaba de los cuerpos celulares a las terminaciones axónicas. Fue un momento decisivo en la historia reciente de la anatomía, que se sirve ahora de una panoplia amplia de trazadores —transportados de modo anterógrado, retrógrado o bidireccional— para sacar a la luz las conexiones entre neuronas.



W. Maxwell Cowan.

## Hacer y bien hacer

**P**ese a lo que desde hace años se viene sosteniendo, no acaba de verse con claridad el papel desempeñado por el cerebelo en el aprendizaje y el comportamiento motor. Avanzando por etapas, la aplicación de la técnica de formación de imágenes por resonancia magnética funcional

induce a pensar que, si bien no se advierte la participación del cerebelo en el aprendizaje de la secuencia motora, sí se observa su profunda implicación en la expresión de la información sobre dicha secuencia y, por tanto, en la modificación del comportamiento motor.

# Bases nerviosas de la conciencia

Los extraordinarios avances de la investigación cerebral no se detienen ni siquiera ante uno de los últimos grandes enigmas de la humanidad: la conciencia. Sobre este tema, campo reservado desde siempre a la filosofía, tiene mucho que aportar la investigación científica

Gerhard Roth

¿Qué es la conciencia? El término está en boca de todos. Del que pide disculpas porque no “fue consciente” de haber omitido el saludo a un amigo, del que “tomará conciencia” de un problema o del que “reflexionará a conciencia sobre él”. Pero si preguntamos a cada uno qué entiende por conciencia, las respuestas divergirán.

No debe extrañarnos. La respuesta no es sencilla ni siquiera para los expertos.

La conciencia engloba una amplia variedad de situaciones con un denominador común: el ser vivida e informada por uno mismo. En consecuencia, sería preferible no hablar de “la” conciencia, objeto habitual del debate filosófico. La forma más general de conciencia es la “vigilia” o “vigilancia”, estado que se contraponen a los de somnolencia, obnubilación, aturdimiento y otros grados de conciencia disminuida que pueden llegar al coma profundo.

Los investigadores distinguen entre la conciencia “de fondo” y la conciencia

actual. La primera comprende vivencias duraderas tales como la de cuerpo (“el cuerpo en que estoy incluido es mi cuerpo”), identidad (“tengo mi propia identidad”), control (“soy quien origina y controla mis actividades corporales y psíquicas”) y localización (“mi propio yo y mi cuerpo ocupan un determinado lugar en el espacio y en el tiempo”).

También forman parte de este tipo de conciencia la condición real concedida a las vivencias y, en relación con ello, la diferenciación entre realidad y ficción. Sobre esta “conciencia de fondo” surgen



**1. ORIGEN CEREBRAL.** En el siglo XIX gozó de amplia difusión la idea de que las facultades psíquicas se hallaban en estrecha vinculación con determinadas sedes cerebrales. La doctrina frenológica cartografiaba incluso distintas formas de amor, el orgullo, el egoísmo y la honradez. Pero no sabía dónde alojar la conciencia. (Plancha de madera de 1864, cuya coloración es de época más tardía.)

## El umbral de la conciencia

De acuerdo con el estado actual de la ciencia, sólo somos conscientes de aquello que supone actividad en el neocórtex. Para que se dé algún grado de conciencia, deben entrar en funcionamiento muchas partes del cerebro que, por su parte, operan de forma inconsciente.

Entre las estructuras cerebrales que revisten importancia fundamental en el mantenimiento del estado de vigilia y de conciencia sobresale la "formación reticular". Se trata de una estructura constituida por tres filas longitudinales de grupos celulares, los núcleos. A lo largo de la línea media (rafe) se encuentra el grupo celular central, que comprende los núcleos del rafe. Para las sensaciones y cogniciones interesantes los núcleos del rafe situados dorsalmente. Las fibras nerviosas que parten de estos núcleos van a parar a muchos otros centros cerebrales, tálamo incluido, desde donde arrancan otras fibras en su camino hacia la corteza cerebral.

A un lado y otro de los grupos nucleares centrales residen los mediales. Las fibras que parten de las neuronas de estos grupos se dirigen también al tálamo; de allí al córtex. Los grupos nucleares mediales forman el sistema activador ascendente. Recibe impulsos de todos los sistemas sensoriales, que portan información de cuanto ocurre en nuestro cuerpo y en el medio en que se encuentra. En el momento en que se advierte una novedad reseñable, a través de la estimulación de los núcleos intralaminares y de la línea media del tálamo, aumenta la actividad general de la corteza cerebral y, con ello, el estado de vigilia.

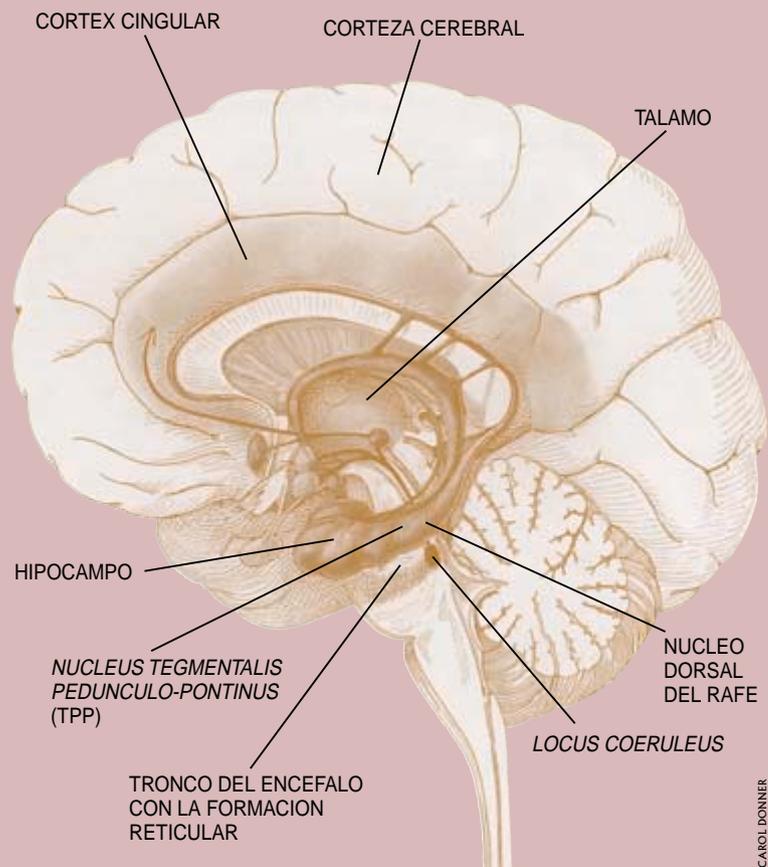
En la parte externa de la formación reticular se aloja el grupo nuclear lateral. El núcleo más anterior es el *nucleus tegmentalis pedunculo-pontinus* (TPP); a través de la base del cerebro anterior, está en conexión con la corteza cerebral. El "núcleo azul" (*locus coeruleus*) tiene aproximadamente las mismas conexiones que el núcleo dorsal del rafe.

Los grupos nucleares centrales y laterales, entre ellos de manera particular el núcleo dorsal del rafe, el TPP y el *locus coeruleus*, actúan de forma más específica que el grupo medial. Se supone que, mediante el neuromodulador noradrenalina, las conexiones del *locus coeruleus* informan al cerebro, a la corteza sobre todo, de la presencia de estímulos nuevos o extraordinarios. Por el contrario, el TPP y la base del cerebro anterior recurren a la acetilcolina para advertir de la importancia de los estímulos y, en consecuencia, del grado de atención que hay que prestarles y de la memoria que merece ser grabada. Según parece, los núcleos del rafe, a través de la serotonina, atenúan las áreas destinatarias de sus estímulos, sobre todo las de la corteza. Impiden así actos movidos por impulsos excesivamente rápidos; su mensaje es: "todo está bien como está".

Los neurofisiólogos consideran a la conjunción de tálamo e hipocampo la puerta que da acceso a la conciencia. A través de los núcleos de conexión talámicos, los estímulos sensoriales llegan a zonas estrictamente deli-

mitadas de las áreas sensoriales de la corteza. Lo que contrasta con los núcleos intralaminares y centrales del tálamo, que tienen unas conexiones hartamente difusas con la corteza cerebral. Estos núcleos, que desempeñan el papel de estaciones retransmisoras entre la formación reticular y la corteza, cumplen una valiosa función reguladora de la actividad general del córtex y de la conciencia.

Se ha descubierto un sistema que relaciona todos los núcleos talámicos formado por las células matriciales. Sus vías eferentes se dirigen a extensas áreas de las capas superiores de la corteza. Al igual que los núcleos intralaminares, las células matriciales regulan la actividad general del córtex y el grado de conciencia. El *nucleus reticularis thalami* envuelve, a la manera de una vaina, la parte lateral del tálamo; interviene en la atención y en la conciencia. Controla la actividad de los núcleos intermediarios talámicos y constituye una suerte de filtro para la conciencia. Se llama sistema tálamo-cortical al conjunto de las conexiones entre el tálamo y el córtex; integrado por miles de millones de fibras nerviosas ascendentes y descendentes, está formado por una combinación de conexiones locales y de gran amplitud que, merced a la intervención del *nucleus reticularis thalami*, pueden actuar estimulándose e inhibiéndose mutuamente.



CAROL DONNER



los estados concretos, a veces cambiantes, de la conciencia actual. Entran en dicha categoría las percepciones sensoriales conscientes de acontecimientos del mundo exterior o del propio cuerpo, las actividades psíquicas tales como pensar, imaginar y recordar, las emociones, afectos y necesidades fisiológicas (como por ejemplo el hambre), y, por fin, los deseos, intenciones y actos voluntarios. En su conjunto, la conciencia “de fondo” y la conciencia actual constituyen la clásica “corriente de la conciencia”.

A raíz de determinadas lesiones cerebrales pueden quedar afectadas, más o menos independientemente, diversas peculiaridades de la conciencia. Hay personas que tienen las funciones de percepción, recuerdo e ideación completamente normales, pero al mismo tiempo se muestran convencidas de que su brazo derecho o incluso todo su cuerpo no les pertenece. Otros pacientes, con una vivencia perfecta de su cuerpo y del ambiente que les rodea, no saben exactamente quiénes son o dónde se encuentran en un momento dado. El estudio de estos casos permite a los neurólogos identificar los distintos elementos de la conciencia y localizarlos en el cerebro.

Constituye la atención un estado especial y habitual de conciencia. Aunque

no somos apenas conscientes de todo lo que queda fuera de la misma, influye en la forma en que percibimos, sentimos o actuamos. La atención, en cuanto “concentración”, refuerza ciertos estados de la conciencia. Tales estados van acompañados de percepciones sensoriales definidas en un espacio, tiempo y contenido, o bien de situaciones psíquicas especiales, así la meditación profunda. De ello se deduce algo que sabemos por intuición: cuanto mayor es la atención prestada a un particular, tanto más desatendido dejamos el resto.

Cuando se aborda la naturaleza de la conciencia suele pasarse por alto que la mayor parte de lo que sucede en torno a nosotros, en nosotros y con nosotros no tiene por qué ser necesariamente consciente. En ello hemos de incluir en primer lugar lo que capta nuestro cerebro en el seno materno o en los primeros dos o tres años de vida, antes de adquirir una conciencia capaz de rememorar.

También en la vida cotidiana nuestro cerebro experimenta y elabora muchos procesos de los que nunca seremos conscientes. A este respecto, los neurólogos hablan de percepción y aprendizaje implícitos, en contraposición con la percepción y el aprendizaje explícitos de los

**2. CAPA A CAPA.** En la sección de la corteza cerebral de ratón aparecen teñidas las neuronas con impregnación de Golgi. Se advierte con nitidez la ordenación de las células en capas.

que nos damos cuenta y podemos informar. En todo caso, se admite que la percepción inconsciente lleva sólo a un procesamiento “superficial” de la información: se reconocen objetos, procesos o situaciones en determinadas condiciones psíquicas y de acuerdo con unas reglas simples, pero no se perciben detalles ni contenidos que sean significativos y complejos.

De la mayoría de las cosas de las que, en principio, podemos ser conscientes no lo somos en realidad. Afirmación que puede aplicarse a cuanto, en su momento, se vivió de un modo consciente y acabó almacenado en alguna de las diversas memorias del cerebro. Algunas de tales vivencias pueden recuperarse voluntariamente con mayor o menor esfuerzo; otras se habrán perdido para siempre.

Muchas cosas, en particular si requieren aprendizaje, necesitan que al principio se les preste una atención consciente. Ir en bicicleta, tocar el piano o manejar una complicada máquina son operaciones que no pueden aprenderse

sin concentración. Con el ejercicio, va disminuyendo la necesidad de concentración para terminar por convertirse en “automáticas”. Incluso sucede a menudo que, al prestar atención a algún detalle de las mismas, se trastorne su desarrollo fluido.

Así pues, la conciencia actual, la atención de manera especial, aparece siempre que el cerebro ha de habérselas con acontecimientos o problemas que se consideran importantes o nuevos. Esto presupone un sistema que funciona de forma

inconsciente o preconsciente. Con ayuda de los distintos tipos de memoria, cuanto percibe el cerebro se clasifica según los criterios de importante-no importante o de nuevo-conocido:

- Si algo es inconscientemente considerado irrelevante, no llegará a la conciencia o lo hará de forma poco definida.
- Lo que se reputa “importante, aunque conocido” activa procesamientos que ya se han ocupado del tema; en consecuencia, llevan a actuaciones rutinarias

que apenas son conscientes, si es que lo son en algún grado.

- Sólo cuando un acontecimiento o una acción se reciben como importantes y nuevos (reconocimiento de nuevos significados, resolución de problemas complicados y aprendizaje de habilidades motoras), se ponen en funcionamiento los sistemas de conciencia y atención. En este sentido, la conciencia es una clase especial de procesamiento de la información. Sobre todo en relación con actuaciones complejas, pueden así domi-

## Sensación y memoria

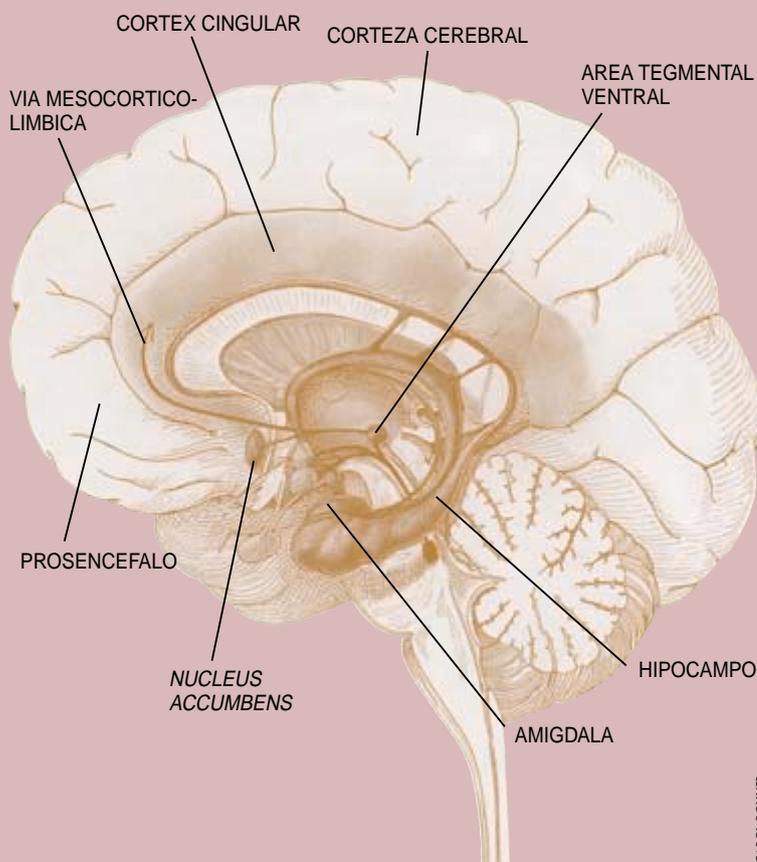
Las sensaciones son un componente importante de nuestras vivencias conscientes. Tienen un origen “subcortical”; es decir, surgen en virtud de la actuación de centros del sistema límbico sobre la corteza cerebral. En este contexto, el núcleo amigdalino, la amígdala, desempeña una función capital, pues origina y procesa inconscientemente estados y vivencias emocionales y, sobre todo, reconoce estímulos ambientales perjudiciales o que infundan temor. Creen algunos investigadores que la amígdala participa también en estados emocionales sin vinculación con el miedo; antes bien, se experimentan como algo positivo (la curiosidad y la iniciativa).

Las sensaciones de placer, satisfacción y bienestar guardan relación con la actividad del sistema mesolímbico, que consta del *nucleus accumbens* y del área tegmentaria ventral. Cuando se presenta un estado positivo, una situación de placer, a través de dopamina y de sustancias opiáceas endógenas, se relaciona con otros centros cerebrales y en especial con el córtex. El sistema mesolímbico experimentado, a través de la dopamina, puede informar de las expectativas de una conducta que produzca satisfacción y placer y, en consecuencia, deba ponerse en obra.

El contenido de la memoria, la atención y las sensaciones se numeran entre los componentes principales de la conciencia. A la memoria consciente se la conoce también por memoria declarativa. Los substratos de esta memoria son el hipocampo y la corteza cerebral que lo envuelve. Por ese motivo, estas estructuras representan también una “puerta” de acceso a la conciencia. Ahora bien, el contenido de la memoria declarativa no se almacena en el hipocampo, sino en diversas áreas de la corteza, según las modalidades sensoriales y funcionales de cada caso. Dentro de la memoria declarativa se distinguen dos tipos. La memoria de conocimiento comprende hechos independientes de personas, lugares y tiempos. La memoria episódica contiene vivencias concretas en relación con la propia persona. El núcleo central de la memoria episódica es la memoria autobiográfica, que representa el fundamento de la con-

ciencia del yo. Se supone que el hipocampo constituye el substrato de la memoria episódica; el córtex envolvente, el de la memoria de conocimiento.

Entre el sistema límbico y la corteza cerebral yace el córtex cingular. Desempeña una función importante en la dirección de la atención y en el matiz emocional de las percepciones; en la sensación de dolor, por ejemplo. Además, el córtex cingular trabaja conjuntamente con el cerebro anterior en el reconocimiento y corrección de los errores.



CAROL DONNER

narse acontecimientos y problemas demasiado complicados para resolverlos en el plano inconsciente.

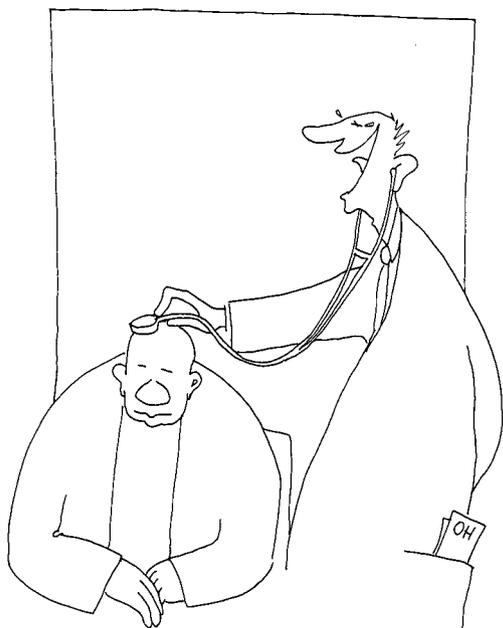
### La cuestión del libre albedrío

En los últimos años los neurofisiólogos han avanzado en la identificación de las zonas cerebrales que desempeñan una función decisiva para la conciencia. Sólo tomamos conciencia de aquello que va unido a una actividad de las “áreas asociativas” de la corteza. Los procesos operados fuera de la corteza cerebral y en sus regiones sensoriales quedan al margen de nuestra conciencia, aunque para ser consciente resulte necesaria la activación, previa o simultánea, de tales áreas cerebrales. Los distintos grados de nuestra conciencia constituyen el resultado final de procesos extraordinariamente complejos que cursan de forma inconsciente.

Afirmación que se aplica también a la sensación de disponer de libre albedrío en nuestras intenciones y actos. Hace unos veinte años, el grupo encabezado por Benjamin Libet, de la Universidad de California en San Francisco, acometió una serie de investigaciones que causaron un importante revuelo en otros campos. De tales estudios se llegó a la conclusión según la cual los centros subcorticales profundos pueden determinar la actividad de la corteza cerebral en actos que tomamos por deseados. Dicho con otras palabras: la decisión de realizar una acción hunde sus raíces en un plano inconsciente antes de pasar al plano de la conciencia. En la misma línea abun-



PRIVADO



dan resultados recientes obtenidos por Patrick Haggard y Martin Eimer, del Colegio Universitario de Londres.

De acuerdo con esos hallazgos, los centros subcorticales influyen en las áreas corticales que nos posibilitan la conciencia y que preparan y dirigen los actos voluntarios. Importa reseñar a este respecto que los ganglios basales subcorticales responsables de los movimientos conscientes influyen sobre el sistema límbico. Se trata de un sistema formado, entre otros, por las regiones organizadoras de la memoria emocional y de la memoria cognitiva. En toda esa constelación radica la base neuronal de lo que podría llamarse “autonomía de actuación del individuo”, es decir, la dirección de nuestros actos mediante la propia experiencia.

Los dos organizadores de la memoria, el emocional y el cognitivo, actúan preferentemente de forma inconsciente. El

### 3. BENJAMIN LIBET, neurólogo para quien el libre albedrío constituía una mera ilusión.

yo consciente, con toda su importancia funcional, no ejerce una influencia decisiva, sino sólo consultiva sobre las acciones que cree haber elegido. En este sentido la “libre voluntad”, interpretada subjetivamente, no constituye la última instancia que controla nuestra conducta.

¿Cómo saben los neurobiólogos de qué manera determinados estados de conciencia dependen de la actividad de ciertas estructuras cerebrales? En los pacientes con lesiones cerebrales hallan una valiosa fuente de información. Sin embargo, las consecuencias que se derivan de dichas lesiones no aportan dato alguno sobre los mecanismos neuronales en los que se basa la conciencia. Para ello necesitamos métodos que detecten la activi-

dad neuronal, empezando por la de una sola célula o de sus puntos de contacto (sinapsis) hasta llegar a la actividad de los millones o miles de millones de neuronas que componen la corteza cerebral.

Las técnicas modernas de formación de imágenes permiten hacerse una idea de la actividad cerebral: la encefalografía magnética (EM), la tomografía de emisión de positrones (TEP) y la resonancia magnética nuclear funcional (RMNf). La electroencefalografía (EEG) recoge las “ondas de corriente cerebral”. Mediante microelectrodos implantados en lugares de interés se registra la actividad de sinapsis, células o grupos celulares determinados.

¿Qué ocurre en las áreas cerebrales exploradas con estos métodos cuando se experimentan determinados estados

de conciencia? No puede tratarse de un simple aumento pasajero del ritmo de impulsos nerviosos, fenómeno recurrente en las distintas zonas del cerebro sin que nos apercibamos de ello. Se tiende a admitir, por contra, que en la base de los estados de conciencia se hallan procesos de “reorganización del cableado” de la red nerviosa de la corteza cerebral. En el hombre, esas redes se tejen con millones de neuronas con múltiples conexiones. Los puntos de conexión (sinapsis entre las células) pueden en un determinado momento intensificar o debilitar instantáneamente sus contactos, lo que comporta un cambio en el procesamiento local de la información. De acuerdo con ciertos investigadores, así se verían transitoriamente involucradas en un mismo estímulo determinadas redes parciales.

Semejante intervención sincrónica facilitaría, por ejemplo, el reconocimiento de un objeto concreto entre una muchedumbre o la intelección de una frase. Durante un breve tiempo, varias neuronas constituirían una unidad de significado. En el establecimiento de la actividad sincronizada desempeña un papel principal la combinación de conexiones entre el tálamo (importante centro de comunicaciones nerviosas en el diencéfalo) y la corteza cerebral, que en unos momentos tiene un ámbito local y en otros abarca una extensa superficie. En este contexto se habla de sistema tálamo-cortical.

### Pensar al segundo

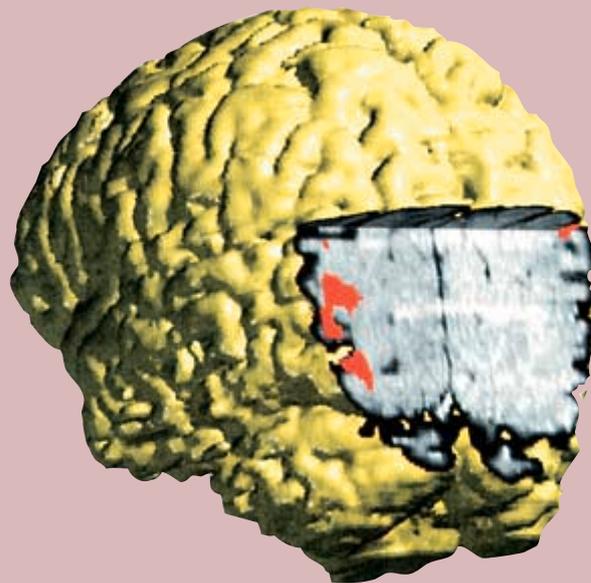
En las áreas cerebrales que intervienen en la conciencia hay sustancias moduladoras. Influyen en los cambios brus-

## En busca de la conciencia

En el hombre resulta harto difícil establecer la trayectoria exacta que siguen las fibras que parten de una célula o de grupos celulares. Los esfuerzos se centran en las oportunidades que prestan las intervenciones quirúrgicas. Para abordarlo directamente, se trabaja con animales de experimentación. Las conexiones nerviosas del cerebro no son dolorosas; el cerebro es insensible al dolor. Se ha demostrado en macacos que las neuronas del lóbulo parietal empiezan a mostrar una gran actividad en cuanto el animal fija su atención en un determinado estímulo visual. Al propio tiempo, aumenta la sincronización de las neuronas que reaccionan ante las diversas características visuales del mismo objeto. Hace pocos años se descubrieron en el córtex prefrontal (la zona más anterior de la región frontal de cerebro) las neuronas que constituyen la base de la memoria operativa. Se identificaron mediante las “tareas comparativas retardadas”. El mono ha de prestar atención durante algunos segundos para darse cuenta bajo qué objeto se encuentra o no se encuentra escondida una recompensa. Durante ese tiempo de “identificación”, se registró en el córtex prefrontal una intensa excitación de las “neuronas retardadas”, actividad que podía prolongarse hasta un minuto. Sin la menor duda, dicha actividad corresponde al proceso de “retención”.

Los métodos de exploración iconográfica TEP y RMNf extraen partido del metabolismo acelerado de las áreas con neuronas muy activas. Consumen más oxígeno y glucosa, lo que supone un mayor riego sanguíneo. La precisión alcanzada en las mediciones por tales métodos ronda los milímetros y los segundos. En la especie humana, dentro de estas magnitudes, la percepción, la cognición, el sentimiento y los movimientos coinciden temporal y espacialmente con un aumento de la actividad en determinados centros cerebrales. Cuando una persona que se ha prestado a este ensayo fija su atención en objetos, panoramas o escenas, se registra una intensa actividad en la zona de transición de los lóbulos occipital y temporal. Si se trata del análisis de una frase, la zona implicada es el centro del habla de Broca. El

*gyrus cinguli*, una importante circunvolución en el sistema límbico, se excita cuando la persona siente dolor. Si el sujeto se halla ante la tesitura de tomar una compleja decisión, la actividad corresponde al córtex prefrontal y a las áreas límbicas por encima de la órbita (córtex orbitofrontal).



**SEÑALES DE LA CONCIENCIA.** En el experimento en cuestión, el sujeto debe fijarse en un punto del campo visual y simultáneamente concentrarse en algún suceso que ocurra en el campo visual derecho. Mediante la resonancia magnética nuclear funcional (mirada oblicua arriba y abajo) se revelan alteraciones de la actividad (*en rojo*) en el área de transición entre los lóbulos temporal y occipital del hemisferio izquierdo del cerebro.

## ¿Tienen conciencia los animales?

La cuestión de si los animales tienen conciencia es tan antigua como la de la naturaleza de la propia conciencia humana. Comparte también disparidad de opiniones. En su mayoría, los investigadores aceptan que el problema no puede resolverse a través de la mera observación. Se trata, a la postre, del problema de la conciencia ajena.

Con métodos apropiados, y hasta cierto punto, pueden sacarse a la superficie la presencia o ausencia de estados de conciencia en animales de especies cercanas a nosotros. Podemos poner a los simios ante tareas cognitivas que los humanos no podemos realizar sin prestar una atención consciente. Así, los animales pueden seguir en una pantalla los movimientos de un punto o, en tareas de comparación postergada, retener en la memoria una situación determinada. Parece improbable que el chimpancé o el macaco realicen misiones tan complejas sin prestar una atención consciente y nosotros no estemos en condiciones de hacerlo. Por otro lado, las exploraciones de formación de imágenes revelan que, durante esa actividad, se intensifica la excitación de las mismas áreas corticales en los monos que en nosotros.

Apoyados en estas investigaciones, podemos afirmar que los primates y otros simios disponen de una percepción consciente, una atención consciente y una capacidad para imaginarse conscientemente objetos y situaciones ausentes, al menos durante un breve tiempo. Disponen, además, de una conciencia de su propio cuerpo, ya que para planificar alguna conducta compleja deben tomar en consideración el tamaño y los movimientos de su cuerpo. Es probable, aunque difícil de demostrar, que los primates (chimpancés, gorilas y orangutanes) cuenten con una conciencia de sí mismos y se perciban distintos de los demás. Cuanto más se alejen su conducta y anatomía cerebral de las nuestras, tanto más difícil resultará investigar los estados de conciencia en los animales de experimentación.

Se trata de un problema que adquiere color especial en el



caso de ballenas y delfines, portadores de unos cerebros gigantescos aunque con una corteza muy fina. Se torna asimismo arduo de explorar en aves, dueñas algunas de un comportamiento “inteligente”: piénsese en los cuervos o en los papagayos. Disponen también de un cerebro grande y con estructura compleja, pero su corteza cerebral —o lo que en las aves se toma por tal— difiere mucho de la nuestra. Lo mismo puede decirse de reptiles, anfibios y peces. El problema resulta insoluble en los invertebrados, entre los cuales algunos presentan un cerebro notable y muestran una conducta inteligente (cefalópodos).

Parece claro que la conciencia ha seguido un curso evolutivo paralelo al de la adquisición de cerebros grandes y complejos, no circunscrita a la especie humana. Sin embargo, todo habla a favor de que hay determinadas formas de conciencia exclusivas de los humanos. Al menos, las que aparecen asociadas a un lenguaje elaborado y sintáctico, es decir, el recapacitar y expresarse sobre el propio “yo” y el “yo” de los demás. Sólo humanas serían también las formas de conciencia relacionadas con una planificación a largo plazo.

cos operados en la velocidad de transmisión a través de la sinapsis. En la síntesis de estas sustancias cumplen una función fundamental la denominada “formación reticular” y distintos centros límbicos. Las sustancias encargadas de la transmisión de señales entre las neuronas —los neurotransmisores “rápidos”: glutamato o ácido gamma-aminobutírico— actúan en el intervalo de milisegundos; necesitan un segundo, si no más, los procesos neuromoduladores y las reacciones químicas a ellos asociadas en el interior de las células o en las sinapsis. Tal vez se encuentre ahí el sustrato del “segundo de la conciencia”: en el intervalo de un segundo tienen lugar percepciones, sensaciones, pensamientos y recuerdos.

Los procesos neuromoduladores consumen oxígeno y glucosa. En consecuencia, el flujo sanguíneo local ex-

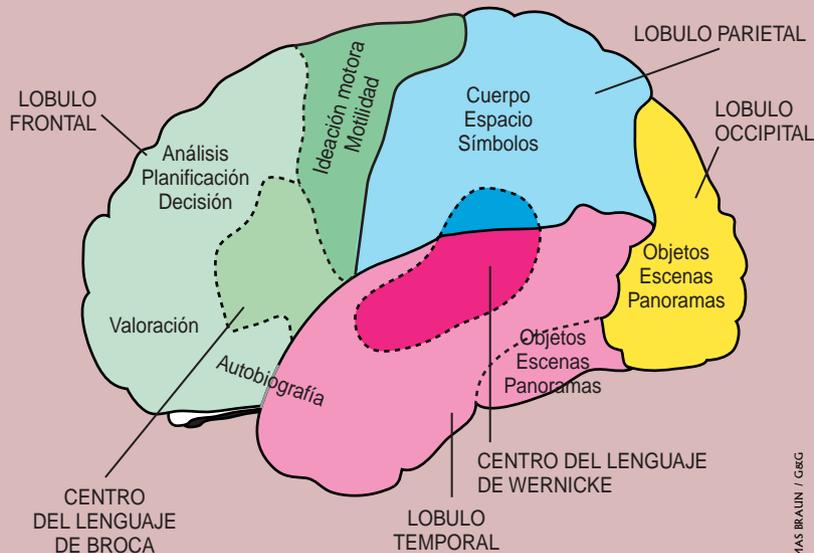
perimenta una brusca y fugaz subida, gracias a lo cual puede hacerse visible mediante tomografía de emisión de positrones o en una resonancia magnética nuclear funcional.

Imaginemos que nos proponemos identificar cierto objeto que se halla en una escena compleja. Al principio deberemos concentrarnos, con la consiguiente intensificación de la actividad de los lóbulos temporales y occipitales: las redes ya dispuestas han de alterar las velocidades de transmisión sináptica, si no formarse nuevas redes hasta encontrar la solución. Después de algunas repeticiones, disminuye el trabajo de conexiones en la corteza cerebral; encontramos la solución con un esfuerzo psíquico mucho menor. Tras algunas iteraciones, apenas podrá reconocerse en la tomografía de emisión de positrones o en la RMNf de nuestro cerebro un incremento

de la actividad cortical porque las conexiones en las redes afectadas funcionan de forma mucho más efectiva y no necesitan ningún aporte adicional de glucosa y oxígeno.

Más llamativo es lo que sucede en el aprendizaje de una secuencia motora compleja. Al principio debemos concentrarnos para conseguir los movimientos que pretendemos realizar; en las áreas respectivas de la corteza se registra el correspondiente aumento de actividad. Después de un suficiente adiestramiento podemos ejecutar esos movimientos incluso “en sueños” y pensar, al propio tiempo, en otra cosa. Las redes nerviosas participantes reducen su alcance, para situarse de modo creciente en la corteza motora que rige los movimientos inconscientes y en centros motores profundos (cerebelo y ganglios basales). Los movimientos automáticos

## La sede de la conciencia



El neocórtex consta de cuatro grandes lóbulos cerebrales: occipital, parietal, temporal y frontal. Desde el punto de vista funcional se distinguen las áreas sensoriales, motoras y asociativas. Las áreas sensoriales procesan las percepciones que llegan desde los órganos de los sentidos; las motoras dirigen los movimientos voluntarios de cada uno de los músculos o grupos musculares. Sólo las actividades de las áreas asociativas resultan conscientes.

Los cuatro lóbulos cerebrales contienen partes del córtex asociativo. Se encuentra, por ejemplo, en las porciones media, posterior e inferior del lóbulo parietal. Cumple a estas áreas la percepción consciente y la identidad del propio cuerpo, la planificación de los movimientos, la percepción, orientación e ideación espacial y la atención a los elementos espaciales. Gracias a ellas podemos imaginar un mundo de tres dimensiones, conocer el lugar donde nos hallamos, percibir una perspectiva espacial y afrontar conceptos espaciales abstractos. Aquí se incluye el conocimiento, interpretación y utilización de mapas, figuras y símbolos abstractos.

El córtex asociativo del lóbulo temporal es el responsable de la visión y de la audición. Su porción inferior, así como las zonas limítrofes del lóbulo occipital, reconocen objetos, panoramas y escenas. Las partes media y superior procesan ruidos, melodías y el habla. Reside aquí también el centro del lenguaje de Wernicke, que en la mayoría de las personas cae en el hemisferio izquierdo. Este centro se ocupa del significado de las palabras y frases sencillas.

El córtex asociativo del lóbulo frontal está formado por una porción superior, otra lateral (córtex prefrontal) y una tercera sita por encima de la órbita ocular (córtex orbitofrontal). El córtex prefrontal contribuye a la estructuración temporal y espacial de las percepciones sensoriales, a la actuación planificada y contextualizada, al habla, a la solución de los problemas y a la dirección del contenido de pensamientos y actos. Así pues, su actividad constituye la base de nuestros planes conscientes y proyectos de actuación. De manera preferente, el córtex orbitofrontal se ocupa de las intenciones, motivaciones y sentimientos, así como de supervisar las consecuencias de nuestros propios actos. En razón de ello, algunos autores lo consideran la "sede" de la moral y, por ende, de nuestra conciencia. El centro del lenguaje de Broca, alojado también en el lóbulo frontal, se ocupa de la producción del habla, de la sintaxis y del sentido de las frases.

van así alejándose de nuestro control consciente. El cerebro busca siempre automatizar los procesos, excluyéndolos de la conciencia. De esta forma realiza su trabajo con mayor celeridad, eficacia y ahorro metabólico. No olvidemos que el funcionamiento consciente resulta lento, expuesto a errores y "caro". En cualquier caso, las cosas nuevas y complejas no pueden solucionarse por primera vez al margen de la conciencia.

Aunque no conocemos con exactitud todos los acontecimientos que suceden en el cerebro acompañando a los procesos conscientes, hay una cosa clara: la conciencia aparece vinculada a determinados procesos físicos, químicos y fisiológicos. Si se bloquean éstos en la corteza, por interrupción de los cambios rápidos en la velocidad de conducción a través de las sinapsis o en la actividad sincrónica, dejamos de estar en condiciones de acometer determinados actos motores o cognitivos que requieran la conciencia.

### Asociaciones cerebrales

¿Por qué sólo son conscientes los procesos que tienen lugar en la corteza asociativa? Ni en su estructura ni en su constitución las áreas de la corteza asociativa difieren sustancialmente del resto de la corteza cerebral. Tanto en un caso como en otro se distinguen seis capas con una estructura celular bastante homogénea. Sus vías aferentes y eferentes están relacionadas con cada una de las capas.

En las áreas sensoriales de la corteza cerebral llamadas "primarias" y "secundarias" se produce un primer procesamiento, de bajo nivel, de las informaciones procedentes de los órganos de los sentidos. Las regiones asociativas se hallan en conexión con estas áreas y dan cuenta de un procesamiento jerárquicamente superior. Así, las informaciones recibidas por los ojos se encaminan, a través del tálamo, hacia la corteza visual primaria y secundaria; desde allí se dirigen a las áreas asociativas visuales de los lóbulos parietales y temporales.

Hay, en cualquier caso, muchas "retroconexiones" con las áreas primarias y secundarias, que parecen revestir particular interés para el afloramiento de la conciencia en las áreas asociativas. En efecto, por término medio, las neuronas de las áreas asociativas responden a los estímulos aferentes de forma más compleja que las células de las áreas sensoriales. Con frecuencia reaccionan ante diversos tipos de estímulos sensoriales, es decir, trabajan de una manera sumamente "integrada". Sabemos que deter-

minadas neuronas de las áreas de transición entre los lóbulos temporal, parietal y occipital reaccionan ante estímulos visuales y auditivos, visuales y táctiles o visuales, auditivos y táctiles.

Al propio tiempo, la corteza asociativa tiene una mayor relación con el sistema hipocámpico (el organizador de la memoria cognitiva) y con el sistema límbico, con la amígdala en particular (organizadora y sede potencial de la memoria emocional). Se comprueba con notable claridad en la parte inferior del lóbulo temporal y en el lóbulo frontal: regiones corticales que desempeñan una función importante en la conciencia. Los sistemas neuromoduladores ejercen aquí una influencia mucho mayor que en las áreas sensoriales y motoras. En breve, la conciencia surge allí donde los sistemas cortical y límbico, y con ello las percepciones, cogniciones y sensaciones, se convierten en el sustrato de nuestra actuación.

Para que se dé la conciencia se requiere que cada una de las aproximadamente 50.000 millones de neuronas de la corteza cerebral se relacione con 1000 o 10.000 neuronas más. Por consiguiente, los aproximadamente 500 billones de conexiones internas en el seno de la corteza cerebral superan, en varios millones de veces, el número de vías aferentes y eferentes. De ello se desprende que, si bien la corteza cerebral se halla en conexión con el resto del cerebro y, a través de los órganos de los sentidos y del aparato motor, con el cuerpo y con el medio en que se encuentra, está fundamentalmente en contacto consigo misma.

### Excitación sincrónica

Las ciencias neurológicas pueden mostrar, al menos en parte, qué funciones cumplen los distintos estados de conciencia y en qué condiciones físicas, químicas, anatómicas y fisiológicas surge la conciencia en el cerebro humano. Ni que decir tiene que eso no explica, en sentido estricto, la naturaleza física o fisiológica de la conciencia. ¿Ha de entenderse la conciencia, según se suponía en el siglo XIX, como una especie de sustancia segregada por las neuronas cerebrales, a la manera en que el hígado segrega la bilis? Debe excluirse dicha posibilidad; de existir una sustancia tal, se habría descubierto; además, la mera existencia tampoco nos aclararía mucho. Para la aparición de la conciencia hemos de indagar estados dinámicos.

A este respecto, un buen candidato provendría de las sincronizaciones entre los miles de millones de neuronas corticales con billones de sinapsis, bajo la

influencia de la formación reticular, el tálamo, el hipocampo y el sistema límbico. A favor de ello habla la mencionada cantidad astronómica de conexiones internas en las áreas asociativas de la corteza. De estos dispositivos podrían dimanar la autoconciencia y otras propiedades “emergentes”. Sobre una base así podemos suponer cuándo y en qué circunstancias se presentan los estados de conciencia; podemos al menos intentar también una explicación de la singularidad de la conciencia: por qué nadie puede experimentar la conciencia de otra persona.

Nos instalamos, pues, en una variante de la teoría de la identidad abordada en el trabajo de Michael Pauen. De acuerdo con la misma, los estados de conciencia se identifican con determinados estados funcionales de los sistemas neuronales. No afirmamos con ello ni que estemos ya en condiciones de explicar las bases fisiológicas de la conciencia ni que podamos deducir, ni siquiera por aproximación, las “leyes del espíritu” a partir de los procesos nerviosos.

En el campo de la física se comprueba por doquier que, a partir de cierto nivel de complejidad, aparecen propiedades que se rigen por leyes propias, no deducibles de los procesos que se dan en niveles inferiores. Para explicar las nuevas propiedades se requieren “leyes-puente”. Se trata de leyes que no entran en contradicción con las leyes generales de la naturaleza, lo que, por lo que sabemos, se cumple en los estados de conciencia. Por muy especiales que sean, el espíritu y la conciencia no sobrepasan los límites de las leyes naturales y hallan explicación en su seno.

---

GERHARD ROTH es director del instituto de investigación cerebral de la Universidad de Bremen y rector-fundador del Colegio Hanseático de Ciencias en Delmenhorst.

#### Bibliografía complementaria

NEURAL CORRELATES OF CONSCIOUSNESS. Dirigido por T. Metzinger. MIT Press; Cambridge, 2000.

BRAIN EVOLUTION AND COGNITION. Dirigido por G. Roth y M. F. Wullimann. Wiley, Nueva York y Spektrum Akademischer Verlag, 2000.

FÜHLEN, DENKEN, HANDELN. WIE DAS GEHIRN UNSER VERHALTEN STEUERT. G. Roth. Suhrkamp; Frankfurt, 2001.

# Podere invisibles

¿A qué se debe que caigamos una y mil veces  
en las redes del maravilloso mundo de la publicidad?  
¿Cuál es la clave del éxito de los seductores encubiertos?  
¿Por qué somos tan vulnerables a sus estrategias?

Arnd Florack y Martin Scarabis

Noche tras noche aparecen con paso torpe y vacilante en las pantallas de todo el país: bebés en pañales, balbuceantes y con una expresión feliz en la cara. Hoy en día, los padres utilizan con toda normalidad y casi exclusivamente productos de material plástico, desechables tras una sola aplicación; por contra, los antiguos pañales de gasa multiplicarían de forma innecesaria la ropa de los bebés, ya de por sí excesiva. Hasta el segundo año de su vida, un niño gasta un promedio de cuatro pañales por día.

Pudiera pensarse, con toda lógica, que los consumidores habrían recibido en su día la introducción de los pañales desechables como una verdadera bendición y esta innovación habría acarreado la rápida desaparición del mercado de los poco prácticos pañales de gasa. La realidad fue muy otra. Los pañales de un solo uso no tuvieron al principio tanta aceptación. Y eso que la publicidad insistente y machacona no había ahorrado esfuerzos en presentar todas las ventajas que reportaría a los padres el nuevo producto. Pero no se había reparado en un aspecto: la descarga de trabajo de las madres no era tan relevante como habían calculado los expertos en publicidad.

Algunos estudios sobre comportamiento del consumo del grupo investigado llegaron a la conclusión de que las madres concedían mucha más importancia al bienestar y a la satisfacción de sus bebés que al propio alivio en el trabajo. Es decir, los consumidores valoraban el producto desde una perspectiva distinta de la tomada por los propios

expertos en técnicas publicitarias. Y en consecuencia cambiaron de estrategia. El nuevo giro publicitario resaltaba de manera creciente el bienestar del niño: con los nuevos pañales desechables los bebés no sólo estaban más secos, sino que mostraban también un aspecto más feliz. El nuevo enfoque aportó, por fin, el éxito deseado. Pervive todavía en los anuncios televisivos el mensaje de que los esfuerzos de los fabricantes de pañales se encamina al bienestar de los niños y no a hacer más llevadero el trabajo de los padres.

Este ejemplo muestra en primer lugar la relevancia de los métodos de propaganda en la comercialización de un producto. Evidencia, además, que no basta con captar la atención de los consumidores si éstos reciben el mensaje de manera distinta de la pretendida. Frente a la táctica de una publicidad que pondera la utilidad de un determinado producto, la decisión del consumidor se orienta en una dirección diferente de la comúnmente esperada.

Aunque se puede entender bastante bien la reacción de las madres en el caso de los pañales desechables, otras veces el comportamiento de los consumidores se antoja casi misterioso. El siguiente ejemplo puede ilustrar lo dicho: un comerciante de utensilios domésticos amplió su oferta con un nuevo aparato automático para cocer pan. Fallaron las previsiones y el aparato en cuestión tuvo poca salida. Lo sorprendente del caso es que subió al doble la venta del único cocedor de pan, que ya figuraba en el catálogo antiguo. ¿A qué se debió esta reacción del público? Cuando contaban con la posibilidad de un solo modelo, los

consumidores se planteaban únicamente la opción de adquirir la máquina o de proseguir con su tradicional horno de cocina.

Al introducir en el programa un nuevo modelo, los consumidores podían comparar, una opción de la que antes carecían. Ante las dos posibilidades, el antiguo aparato se les antojaba más atractivo que el nuevo, que además era más caro. Los clientes se planteaban entonces la pregunta de si elegían esta nueva máquina o si se inclinaban por la otra. Aquí se daba un efecto estudiado por Itamar Simonson y Amos Tversky, de la Universidad californiana de Stanford, en un gran número de experimentos psicológicos: ante una nueva posibilidad de elección, incluso si no despierta en sí mucho interés, se fomenta la salida de una alternativa que hasta ese momento parecía algo menos atractiva.

Los ejemplos aducidos ponen de manifiesto que los consumidores pueden percibir un producto de formas distintas en función de las perspectivas y del nivel de comparación. El origen de tales fenómenos radica en procesos psicológicos básicos de la percepción y de la interpretación del entorno (véase la figura 3).

El lector identifica de inmediato los signos reproducidos en la línea superior de la figura 3 como las tres primeras letras del alfabeto y los de la línea inferior como los números 12, 13 y 14. Lo curioso es que, en ambas líneas, el segundo signo es idéntico. Dicho de otro modo, reaccionamos ante un estímulo de manera diferente según el contexto. Nuestra percepción de la figura se basa en la interpretación y composición de los distintos elementos constitutivos de una

**1. ¿ATRACCION POR LA IMAGEN SIMPATICA Y FAMILIAR?** Desde hace decenios Don Limpio es el genio "limpiatodo" de la publicidad.



PROCTER & GAMBLE

imagen. La percepción y valoración de un determinado objeto depende así tanto de nuestras experiencias y opiniones consolidadas como de las expectativas proyectadas en una situación dada. Para tratar de explicar de qué modo influyen estos factores en la apreciación de los productos y en el comportamiento del consumidor los psicólogos recurren a modelos teóricos que abordan los procesos del tratamiento social de la información: recepción, almacenamiento, descarga de los datos y, en suma, la interpretación final que de la susodicha información hacen los consumidores en cuestión.

### **La metáfora del ordenador**

A modo de ilustración es pertinente comparar con un ordenador el procesamiento humano de la información. Previo al suministro de datos de un ordenador se activa un instrumento de filtrado o un teclado que vehicula informaciones (*input*)

que, a su vez, se procesan mediante un programa. Desde la memoria se descargan, además, otras informaciones antes de presentar un determinado resultado (*output*) en la pantalla o en la salida de impresora.

Nuestro procesamiento de la información sigue un curso similar. El envasado de un producto, las razones esgrimidas por el asesor de compras y la comparación con productos alternativos representan la entrada de datos, mientras que la decisión de comprar tal o cual producto puede equivaler a la salida o resultado final. El proceso que tiene lugar entre ambos extremos, tanto en el caso del consumidor como en el del ordenador, depende esencialmente del programa activado. Este decide en definitiva la interpretación de las informaciones que una tras otra van entrando. Pulsando la misma tecla en el ordenador obtenemos muy distintos resultados según los diferentes programas activados. De

manera similar, nosotros (caso de los pañales de bebé), partiendo del mismo *input*, podemos llegar a apreciaciones totalmente diferentes de un mismo producto en función del marco interpretativo del mismo.

Los mensajes publicitarios surten efecto por la influencia ejercida sobre el marco interpretativo utilizado por un consumidor y por las informaciones que éste activa en su memoria. Traducido a la metáfora del ordenador, esto significa que el publicitario intenta influir tanto en la selección del programa activado cuando se va a elegir un producto como en las informaciones que dicho programa descarga desde el disco duro. Si los mensajes publicitarios consiguen su objetivo es porque el consumidor ha vinculado el producto a determinadas propiedades de éste, consustanciales al marco interpretativo aludido. La clave de esta discriminación positiva del mencionado producto radica en el propio marco inter-



**2. DOBLE MENSAJE:** Los pañales se presentan como descarga de trabajo para la madre y como algo agradable para el niño. Los estrategias publicitarias, al introducir los anuncios de pañales de bebé desechables en los años 60, pusieron un énfasis excesivo en el alivio de trabajo para los padres. Pero el nuevo producto no se asentó en el mercado hasta que pasó a un primer plano el bienestar del niño.

pretativo utilizado en cada caso. Es decir, en la memoria del consumidor se produce una relación directa entre valoraciones positivas genéricas y el producto en sí.

Podemos asociar la memoria, el aparato procesador de datos del ser humano, a una red cuyos nodos están interconec-

tados por hilos. Algunos puntos nodales representan objetos (por ejemplo, productos); otros representan propiedades (calidad, confort, etc.), emociones o valoraciones. Cuando se activa un punto nodal, el impulso se propaga a nodos inmediatos y de ahí a otros sucesivos hasta llegar con fuerza decreciente a los más distantes. Las asociaciones que un individuo opera a propósito de un objeto vienen determinadas sobre todo por sus conocimientos y sus experiencias. Las conexiones activadas no dependen sólo de los conocimientos previos, sino también de la situación concreta en que se desarrolla. Si, por ejemplo, un consumidor se plantea la cuestión de adquirir un coche de la marca Mercedes, su demanda de dicha marca activa en él una serie de conceptos y valoraciones asociados en su fuero interno con dicho producto. En algunos casos estas aso-

ciaciones lo pueden relacionar con “lujo” o “confortabilidad durante el viaje”; en otros, con “técnica depurada” o con “un vehículo para personas mayores”.

¿Cómo actúan los mensajes publicitarios sobre las asociaciones y actitudes almacenadas en nuestra memoria? Si se observan los anuncios televisivos o

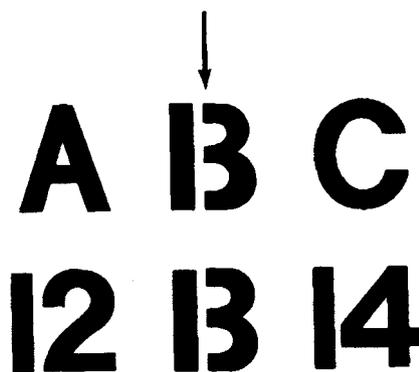
las páginas de publicidad de las revistas, uno se percata enseguida de que no se trata tanto de persuadir en absoluto con argumentos objetivos cuanto, muy por el contrario, de apelar frecuente e insistentemente al plano de los sentimientos del destinatario del mensaje. Ocurre, por ejemplo, con una empresa de seguros, que quiere transmitir los sentimientos de calidez y protección a través de su publicidad. O con la fábrica de cervezas que traslada a sus anuncios en revistas la sensación vital de gente alegre, afortunada y acostumbrada al éxito. En todos estos mensajes publicitarios subyace la idea de transferir al producto las emociones representadas y conseguir así una asociación íntima de éstas con aquél. Si el sistema funciona, en cada caso se activa de inmediato una emoción positiva que se asocia siempre a la percepción del producto. Ilustremos lo dicho con un ejemplo: un consumidor se propone firmar una póliza de seguros; en el trance de la comparación ideal entre las distintas opciones, los mecanismos arriba descritos “deben” llevarle a sopesar la calidez y la protección y a inclinar su decisión por una determinada oferta.

Numerosas investigaciones psicológicas documentan la efectividad de estos simples intentos de condicionar al destinatario del mensaje. En la memoria se estructura una asociación configurada por la percepción simultánea del producto y por el plano emocional. La intensidad de la conexión depende de la frecuencia de esta activación simultánea. Si la asociación adquiere fuerza suficiente, aflorará la emoción también en algún otro momento posterior, por ejemplo cuando el consumidor sopesa los pros y los contras a la hora de elegir un determinado producto. La única limitación de este mecanismo de actuación aparece cuando diferentes marcas publicitan sus productos con medios similares. En este caso ya no se diferencian tanto en la memoria las asociaciones vinculadas a un producto con un tipo determinado de emociones.

## Nombres de marcas para tararear

Otro medio de influir en los sentimientos y valoraciones vinculados a un producto consiste lisa y llanamente en la presentación reiterada del mismo. De todos es conocido el fenómeno de la canción de la radio que no le dice nada a uno cuando la oye por primera vez. Sin embargo, cuando dicha canción se escucha con relativa frecuencia uno empieza en algún momento a tararearla de una manera inconsciente. Algo similar sucede con productos y nombres de marcas comerciales que nos bombardean una y otra vez: concedemos aprecio mayor a estas marcas y productos que a aquellos con los que nos topamos en una primera ocasión. Algunos investigadores han mostrado que este efecto aparece incluso cuando la reiterada presentación tiene lugar por debajo del umbral de la percepción, es decir, de manera inconsciente. En estudios ya tipificados se les pasan a los participantes en el experimento imágenes de diferentes objetos intrascendentes a una velocidad de uno a cinco milisegundos, una celeridad que no permite percibir conscientemente las imágenes ni verificar que algunas aparecen con frecuencia mayor que otras. A continuación se les pregunta a los participantes si encuentran agradables los objetos y si los habían visto antes en alguna otra ocasión. Los participantes suelen asegurar no haber visto nunca dichos objetos; sin embargo muestran su preferencia por aquellos que, a lo largo de la prueba, presenciaron con mayor frecuencia.

Los psicólogos parten de la idea de que se reconocen y se clasifican de un modo más fácil los productos presentados reiteradamente. Esta facilidad en la percepción va ligada a un sentimiento positivo, que se traslada sin solución de continuidad al objeto. En otros términos: al producto se le transfiere un sentimiento no causado ni por la actitud previa, ni por la opinión formada, ni por el conocimiento a fondo del mismo, sino única y exclusivamente por el procesamiento de la información ejecutado sin esfuerzo perceptible. Posiblemente se moviliza y funciona el mismo mecanismo en el despliegue de mensajes publicitarios durante los espectáculos deportivos. Los espectadores los perciben como de pasada, pero no necesariamente de forma consciente. Por eso, esta técnica se sustrae al peligro de desencadenar tedio o incluso reacciones de rechazo, lo que se opondría al efecto perseguido con la mera presentación. Si aflora la sensación de que un producto está ve-



**3. NUESTRA PERCEPCION NO ES SIEMPRE INDISCUTIBLE.** Según el contexto interpretaremos el signo intermedio en las líneas horizontales ora como el número 13, ora como la letra B.

hiculado por una determinada publicidad de manera muy insistente se puede llegar a una minusvaloración o incluso a un rechazo del mismo.

También el estado de ánimo de los espectadores desempeña un papel decisivo para la valoración inmediata de un producto promocionado por un anuncio. Simplificando, cuando estamos alegres vemos nuestro entorno color de rosa y, si tristes, la visión es más bien negativa. Si tenemos “una buena sensación” nos sentimos atraídos por el producto; en cambio, si “la sensación es mala”, la valoración es menos favorable. No siempre estamos en condiciones de matizar si nuestra sensación guarda alguna relación real con el producto o si intervienen otros factores: el propio anuncio, un programa visto antes u otros acontecimientos actuales de nuestro entorno. Es decir, a veces emitimos un juicio sobre un determinado producto partiendo de determinado estado de ánimo, al que se ha llegado como consecuencia de un encadenamiento de fenómenos.

La seriedad con la que los publicitarios toman en consideración el estado de ánimo de los consumidores se manifiesta en el descenso de demanda de anuncios después de los atentados del 11 de septiembre de 2001. En algunos países bajaron a corto plazo los encargos de publicidad en todos los medios hasta en un 25 por ciento. Luego, la situación volvió a normalizarse bastante. Sin embargo, Clare Rossi y Peter Jones, expertos de la agencia de publicidad Grey Worldwide, creen que las condiciones han sufrido un cambio fundamental y prevén un futuro en el que los consumidores se mostrarán más críticos en todos los aspectos. Del nuevo giro nos hablan también las encuestas: hasta el 44 por ciento de los interpelados no consideran adecuado de momento que aparezcan en los anuncios

publicitarios determinados motivos, por ejemplo rascacielos o aviones. André Kemper, de la agencia de publicidad Springer & Jacoby, sospecha que, en adelante, la ciudad de Nueva York dejará de ser un motivo publicitario, la urbe que antaño simbolizaba vitalidad y estilo de vida.

Y es que el talante de los consumidores influye muy directamente en la descarga de información desde la memoria. Los psicólogos lo explican mediante el efecto de la congruencia de estado de ánimo. Dicho de otra manera: en las redes de la memoria se potencia la activación de los contenidos que se compadecen con el correspondiente estado de ánimo.

Pero nuestro estado de ánimo no sólo “tiñe” nuestro juicio. Influye también en la fuerza cribadora y analítica de los argumentos que se nos proponen con técnicas persuasorias; lo son las empleadas en los anuncios. El buen humor nos indica que todo va bien; en ese estado de ánimo huelga toda reflexión posterior. Asentimos sin reticencia a datos de experiencia o a “abreviaturas (reducciones) mentales” que nos fueron útiles en el pasado. Se confía en el “experto”, se sigue a las personas con buena planta y se fía uno de la calidad del producto de marca. Algo totalmente distinto acaece cuando el estado de ánimo es negativo.



**4. TAMBIEN A VECES** se pueden interpretar las ilustraciones de forma equívoca. El dibujo muestra simultáneamente una mujer joven y una anciana.

Ese mal humor nos previene de que algo no funciona bien y de que tenemos que estar más alertas. Entonces examinamos con mayor detenimiento los argumentos esgrimidos y no nos dejamos convencer por razonamientos poco consistentes. En este caso es irrelevante quién nos quiere persuadir: si una persona famosa o el vecino de al lado.

Este efecto se produce incluso si nuestro estado de ánimo no tiene en el fondo nada que ver con el producto publicitado. Por eso mismo los especialistas en aplicación de la psicología a la promoción comercial quieren saber en primer lugar qué influencias provocan los estados de ánimo no subsecuentes a la publicidad, sino inducidos por programas de televisión. E indagan de qué manera mediatiza al consumidor la lectura en una revista de los artículos inmedia-

Mark Pavelchak, John Antil y James Munch, psicólogos de la Universidad de Delaware en Newark, entrevistaron a un número determinado de espectadores, que habían visto anuncios en los intermedios de la emisión en directo de la final de la liga nacional de rugby. Las preguntas inquirían en qué se les había quedado especialmente grabado durante la emisión. Los entrevistados procedían, en número igual, de las ciudades de los vencedores y de las de los perdedores; incluyeron también en la encuesta a individuos de lugares sin especial vinculación emocional con el acontecimiento deportivo.

Para sorpresa de todos —y lo mismo en el aspecto emocional positivo que en el negativo— el balance general de los recuerdos no era especialmente favorable para los entrevistados que se habían

ventajas e inconvenientes de todas las alternativas. Nos pasaríamos el día entero en la compra.

### Persuadir y convencer

Si analizáramos con todo detalle las informaciones que nos inundan en rápida sucesión y en forma de bloques publicitarios, acabaríamos por embotar nuestra memoria a corto plazo. Guiados por un instinto de sentido común, a menudo hacemos caso omiso de la publicidad y acudimos, de forma casi rutinaria, a las estanterías de los supermercados para surtirnos de los productos que esperamos encontrar en su lugar acostumbrado. Se trata de un gesto compatible con un talante crítico; de ciertas informaciones a las que concedemos alguna importancia examinamos las razones a favor y en contra.

Richard Petty, de la Universidad estatal de Ohio en Columbus, y John Cacioppo, de la Universidad de Chicago, han abordado esta discriminación escrupulosa en nuestro procesamiento de la información y han desarrollado un modelo que predice el efecto de las tantas veces mencionadas tentativas persuasorias. Este modelo describe dos tipos de intentos de persuasión que alcanzan su objetivo con éxito. Petty y Cacioppo definen como itinerario *central* el proceso durante el cual nosotros analizamos atentamente hechos y argumentos instrumentados para convencernos de algo. Por el contrario, seguimos el itinerario *periférico* cuando no nos concentramos tanto en los hechos y en los argumentos objetivos, sino que nos fijamos más en los rasgos superficiales de un mensaje (por ejemplo, en su originalidad o en la persona que lo emite).

Los consumidores deberían recorrer la ruta periférica en los casos en que no puedan concentrarse o se vean incapaces de examinar cuidadosamente los argumentos aportados. Sería el mismo proceso que se da cuando ven anuncios que no les atañen en absoluto. Contrariamente, uno debería recorrer el camino central de la persuasión siempre que aparezca un producto de verdadera importancia para él, pues una adquisición equivocada podría acarrearle repercusiones muy negativas.

Numerosas investigaciones avalan las predicciones de este modelo. Petty y Cacioppo, junto con David Schuhmann, de la Universidad de Tennessee en Knoxville, estudiaron la influencia de la publicidad de una revista en la valoración de una máquina de afeitar, que no había salido todavía al mercado. A los participantes en el muestreo se les regalaba una



tamente anterior y posterior al anuncio de un producto determinado. ¿Qué ejerce un efecto mayor, el anuncio intercalado en la pausa de un programa de variedades o el incluido en medio de un documental riguroso?

Algunos estudios sobre los mencionados efectos del entorno de un programa destacan que, en comparación con las emisiones muy “serias”, los espacios más desenfadados facilitan mejor el recuerdo posterior de un anuncio aparecido en la pequeña pantalla. Además, el estado de ánimo positivo provocado por el entorno del programa contribuye a que los espectadores recurran reiteradamente durante la emisión de la publicidad a las abreviaturas mentales arriba mencionadas. Es decir, utilizan su propio estado de ánimo como referente de la valoración de la publicidad emitida mucho más intensamente de lo que sucede con las emisiones “serias”.

implicado con sus sentimientos de una manera intensa. Se había desdibujado notablemente el recuerdo de los anuncios no sólo en los casos de extrema decepción, sino también en los de máxima euforia. Hay una explicación sencilla para este fenómeno: las emociones intensas conllevan una gran excitación fisiológica y reclaman cuantiosos recursos cognitivos. Y los espectadores sometidos a una presión emocional intensa reciben con muchas limitaciones la oleada de anuncios y retienen sólo superficialmente el contenido de los mismos.

Si no activáramos alguna suerte de reducciones mentales, nos veríamos desbordados por una sobrecarga de auténticos aluviones informativos y seríamos incapaces de tomar decisiones y de actuar en consecuencia. Imaginemos la situación en un supermercado donde nos detuviéramos a estudiar la letra pequeña de cada uno de los envases del conjunto de los productos con el fin de ponderar las

máquina siempre y cuando destacasen entre las distintas ofertas la relevancia personal que tenía para ellos la calidad del producto elegido. Como era de esperar, el punto de vista de los entrevistados subrayaba muy especialmente el mencionado aspecto de la calidad. Pero se llegaba a un resultado totalmente distinto cuando a los entrevistados no se les prometía la opción de elegir aparato alguno y, además, suponían que el nuevo producto no saldría tan pronto al mercado. En este segundo supuesto los encuestados tendían a una opinión más positiva si en la publicidad del artículo en cuestión aparecían, por ejemplo, deportistas famosos que si lo presentaban personas desconocidas. En este contexto importaban bastante poco los argumentos aportados en favor del aparato.

### Críterios de medida

Los especialistas en publicidad tienen que atenerse a estas conclusiones cuando planifican la ubicación de sus campañas de promoción. Es decir, deben atender escrupulosamente la motivación de los potenciales consumidores y la disposición de éstos a aceptar las informaciones presentadas. Supongamos que a una agencia de publicidad se le encarga promover la adquisición de agendas electrónicas. Lo primero que se plantea es el estudio del ámbito de acceso a los potenciales clientes y de si éstos, en principio, tienen suficiente motivación para leer anuncios; además, hay que indagar si los destinatarios, una vez leída la propaganda, pueden percibir en su plenitud las informaciones suministradas. En el supuesto de que los lectores de una revista especializada en informática se interesasen por estos productos y dedicasen tiempo suficiente al examen de los anuncios, habría que ofrecerles información medida, detallada y con poder de convicción. Pero si se elige la televisión u otro medio generalista — en donde la publicidad impacta sólo de un modo fortuito — se deberían emplear estrategias que permitieran a los destinatarios activar datos adquiridos por experiencia propia. Una posibilidad sería, por ejemplo, que el anuncio lo presentara un famoso.

De donde podría inferirse que da lo mismo influir en las personas por la ruta central que por la periférica, si de lo que se trata es de mover al consumidor a decidirse por una opción determinada. A corto plazo, así parece. Pero las tácticas publicitarias deben tender a que un cliente prefiera a largo plazo un producto en concreto entre las distintas ofertas que se le presentan. De ahí la importancia decisiva de la toma de posición: la opción



tomada en favor o en contra de un producto tras un análisis razonado de los argumentos pervive durante mucho más tiempo. Y, con alta probabilidad, estas decisiones tienen más peso que las tomadas de forma casual. La consecuencia es clara: para que un cambio de posiciones sea duradero hay que presentar argumentos convincentes y motivar a los consumidores para que enjuicien las ventajas que se les pondera.

Hay diversas formas de influir en el consumidor estableciendo el tipo de información almacenada en su memoria y el arraigo de la misma. Cierto que debe matizarse al afirmar que se puede influir de hecho en todas y en cada una de las decisiones del consumo. Contra lo que

**5. UNA CUESTION DE HONOR:**  
¿Haría propaganda Franz Beckenbauer por un producto de mala calidad? Las figuras famosas y conocidas, aun sin presentarse en la publicidad como especialistas, se manifiestan a favor de determinados productos.

quizá se pueda suponer, no es tan evidente la relación entre las estructuras de la memoria — o de las actitudes consolidadas de la misma — y nuestro comportamiento concreto. Sin duda, el entorno desempeña un papel muy importante a la hora de elegir un producto. Por muy blindada que un cliente pueda tener su opinión, siempre podrá sucumbir en la tienda a la hábil estrategia de venta de



## Arte de la seducción: “Gancho visual” y “Anuncios misteriosos”

¿Cómo se despierta la atención de los consumidores? ¿De qué manera se consigue que alguien dedique tiempo a examinar los pormenores de las ventajas que nos ofrece un determinado producto? Cuando estamos de mal humor nos mostramos más críticos ante una argumentación persuasoria; si, por el contrario, nuestro estado de ánimo es positivo obviamos casi siempre el esfuerzo cognitivo y recurrimos a las llamadas abreviaturas (reducciones) mentales. Por sorprendente que parezca, resulta cierto el aserto siguiente: las emociones negativas suscitadas por la publicidad pueden animar a los consumidores a una actitud de análisis más ajustados. Un ejemplo de aplicación de estos experimentos en el mundo de la publicidad son los anuncios de la casa de modas Benetton con imágenes de enfermos de sida y de víctimas de la guerra.

Pero el éxito de estas estrategias depende también de otros factores. Remover emociones negativas implica también el riesgo evidente de una activación de contenidos de memoria asimismo negativos. Y este enjuiciamiento negativo puede

también acarrear una apreciación hostil del producto. Resulta asimismo plausible que éste pueda ser el efecto deseado cuando el objetivo de una campaña sea la apreciación negativa de un objeto o de un modo de comportamiento.

Piénsese, por ejemplo, en programas que intentan convencer a la gente de las ventajas de no fumar. En una primera instancia las imágenes de los pulmones de un fumador suscitan un miedo razonable ante este fenómeno; un paso posterior consistiría en proponer la posibilidad de reducir la adicción al tabaco. El resultado podría ser, con algo de suerte, conseguir un giro en el criterio y en la conducta del destinatario del mensaje. Pero en general el objetivo de la publicidad no es llegar a una apreciación negativa de pautas de comportamiento o de productos determinados.

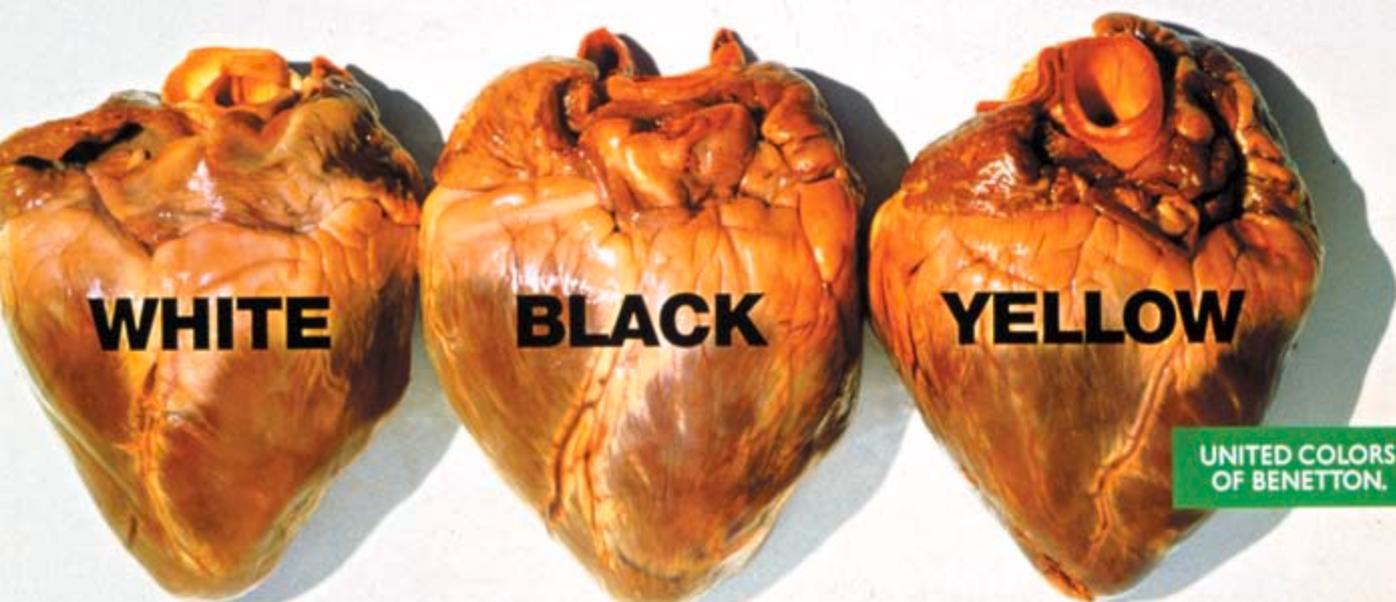
Así pues, ¿cómo se puede atraer la atención de los consumidores para convencerles de las ventajas de un producto? De entrada, hay que situar la publicidad o el mismo producto físico en una posición accesible. Por esta razón en televisión tienen preferencia los primeros segundos de emisión de un

comerciante; o puede adquirir un determinado producto, que en principio no figuraba entre los favoritos, porque se quiere responder a las expectativas del entorno social. Es muy improbable que un empleado de la empresa automovilística Opel sucumba a la estrategia propagandística de la marca BMW a la hora de adquirir un vehículo: sus com-

pañeros podrían afeárselo. Evidentemente, en nuestras decisiones de compra también concurren aspectos de orden puramente económicos.

A la cuestión de la preferencia concedida a las valoraciones grabadas en nuestra memoria en campañas publicitarias pretéritas, la respuesta de nuevo es que no tiene por qué haber una corre-

lación necesaria. La condición previa sería que, ante una situación determinada de compra, se apelase a las estructuras de la memoria acuñadas por la publicidad. Muy a menudo los consumidores acuden a los comercios mucho tiempo después de haber visto el anuncio en la televisión o de haberlo examinado en una revista de la especialidad. En el inter-



BENETTON GROUP S.P.A.

Los anuncios de Benetton suscitan la atención del observador con imágenes inusuales, que a veces encierran un contenido inequívocamente negativo. Tales campañas publicitarias albergan el peligro potencial de que el desencadenamiento de estas emociones negativas se transfiera también a la valoración de la marca.

bloque de publicidad; en las revistas, la contraportada; y en las estanterías de los supermercados, aquellos puntos estratégicos a la altura de la vista. Las demás posibilidades radican en la configuración de la propia publicidad. Los “ganchos visuales” o las ilustraciones vivas y sugestivas ejercen un especial poder de atracción. Algo similar sucede con las cosas curiosas, novedosas y, en general, con todo aquello que rompe con nuestras expectativas.

De todas maneras hay efectos que excitan la atención de los clientes, sin que comporten una obligada interiorización de los argumentos de compra ni un mejor recuerdo ulterior del producto adquirido. Cuando los elementos publicitarios son muy complejos y reclaman en exceso la activación de nuestros recursos cognitivos no nos detenemos en analizar los pormenores de las ventajas del producto presentado; antes bien, nos orientamos por características secundarias, un fenómeno que se da presuntamente cuando el producto mismo no es el objeto central de nuestra atención.

A menudo se ha ensayado el método de centrar directamente nuestra atención sólo en las ventajas del producto de que se trate. Para ello se incluyen en el anuncio contradicciones e interrogantes sin respuesta, cuestiones a las que únicamente

puede dar posible solución una lectura o una reflexión posteriores. En orden a la reactivación de la memoria el equipo encabezado por Michael Houston, de la Escuela Carlson de Estudios Empresariales, de la Universidad de Minnesota en Minneapolis, consiguió mejores resultados mediante una divergencia provocadora entre las informaciones que suministraba la imagen y las contenidas en un texto publicitario. Lógicamente este efecto se produce cuando los lectores tienen tiempo suficiente de verificar y descifrar las posibles discrepancias del orden arriba mencionado.

Por esta razón en la publicidad televisiva se emiten los llamados anuncios misteriosos con la pretensión de que los espectadores se animen a reflexionar sobre los argumentos aportados con el mensaje. Dichos anuncios no explicitan al principio a qué productos está destinada la publicidad; tan sólo al final, y en el punto culminante, se despeja el misterio.

Al tratar de estos efectos los psicólogos parten de un supuesto fundamental: sobre la base de un cierto grado de motivación los consumidores intentan dar con la respuesta a los interrogantes sugeridos o a las incongruencias planteadas. En definitiva es éste el mecanismo que les motiva para analizar y sopesar todas las informaciones recibidas.

való seguramente se acumularon nuevas impresiones y quizá se desdibujaron las asociaciones vinculadas al artículo. De ahí que todas las empresas traten de fomentar en el lugar de venta el impacto de la publicidad del producto y se esfuercen en reactivar asociaciones positivas con el mismo. Nos lo corrobora la integración estratégica en los envases de los

productos de todos los elementos relacionables directamente con la publicidad. Por ejemplo, en las botellas de “Don Limpio” se reproduce la misma figura humana que se presenta también en la publicidad televisiva de ese producto de limpieza.

Pero en último término nuestro comportamiento consumidor depende de

nuestras propias experiencias con el producto, experiencias que descargamos una y otra vez inconscientemente de nuestra memoria en el momento de optar por la adquisición de un determinado artículo. ¿Por qué importan más las asociaciones basadas en la experiencia personal con un producto que los contenidos de memoria estructurados a partir

del impacto publicitario? Simplemente por un proceso de activación más sencillo y ligero, ya que aquéllos se pueden evacuar con mayor facilidad de la memoria y, en consecuencia, ejercen un peso mayor en nuestra valoración. Esa es la razón de que tenga mucho más sentido ofrecer al consumidor la oportunidad de experimentar el producto mediante pruebas gratuitas, abonos temporales o viajes de comprobación. Con ayuda de estos procedimientos se refuerza nuestra visión positiva del producto y probablemente aumente nuestro deseo de adquirirlo en el futuro.

Multitud de encuestas destacan el convencimiento de mucha gente de no dejarse influir por la publicidad. Pero algunas investigaciones en el mercado norteamericano, como los llamados “tests de cable dividido”, demuestran lo contrario. Es el caso de un experimento desarrollado de forma conjunta por algunas empresas de redes por cable y diferentes cadenas de supermercados. Las empresas emitieron de manera selectiva mensajes publicitarios a diferentes grupos de consumidores que aceptaron participar en el ensayo. Mediante tarjetas codificadas, que se utilizaban para la compra, se podía rastrear la frecuencia con la que los diferentes grupos adquirían determinados productos. Los resultados arrojaron las siguientes cifras: subida en porcentaje de venta para los productos publicitados, en un 60 por ciento para los nuevos y en un 46 por ciento para los ya establecidos en el mercado. El ascenso de ventas se situaba en un promedio de un 21 por ciento entre los consumidores que ya habían visto anuncios asociados. Incluso con reservas sobre el valor real de tales cifras, lo cierto es que revelan al menos una efectividad de la publicidad.

### Ratas en la campaña electoral

Una cuestión intensamente debatida y que los medios de comunicación vuelven a abordar una y otra vez concierne a la influencia de los mensajes publicitarios subliminales, es decir, los que se sustraen a nuestra percepción consciente. En la campaña de las recientes elecciones a la presidencia de Estados Unidos volvió a desatarse la polémica sobre tales técnicas. En un anuncio de propaganda electoral a favor del candidato republicano George W. Bush se insertó un fragmento de un discurso de su opositor principal, el entonces vicepresidente Al Gore. Durante un brevísimo instante aparecía en la pantalla, en grandes caracteres, la palabra “rats” (ratas). Los demócratas acusaron a los republicanos de utilizar mensajes subliminales para condicionar a los electores. Los autores del anuncio arguyeron en su defensa que únicamente por un error técnico se habían



### 6. EN MUCHOS LOCALES

COMERCIALES numerosos productos “recuerdan” a los consumidores la clásica publicidad con la intención de activar los efectos de la propaganda en situaciones concretas de consumo. La figura aquí reproducida se presenta tanto en la publicidad televisiva como en los envases del producto.

deslizado en la pantalla las últimas letras de la palabra “bureaucrats” (burócratas).

Este caso ilustra el viejo debate sobre las posibilidades de influjo subliminal en las personas. En los años cincuenta se achacó a James Vicary, de Nueva Jersey, la introducción en su sala de cine de un nuevo sistema de publicidad con la intención de aumentar la venta de los artículos anunciados: integraba en sus proyecciones los mensajes “Bebe coca-cola” y “Come palomitas de maíz”. Con la particularidad de que estas exhortaciones aparecían y desaparecían de una forma tan rápida, que los espectadores apenas si adquirían consciencia de su presencia. Según contaba el propio Vicary, tal recurso sirvió para aumentar, en un plazo de seis semanas, un 18% la venta de coca-cola y un 50% la de palomitas. A este caso le siguieron otros similares en distintos medios. Cierta emisora había lanzado, según parece, el mensaje apenas perceptible de manera consciente de que “ver la televisión es aburrido”; hubo cadenas de grandes almacenes que emitieron por la megafonía de sus locales mensajes como “el ladrón es siempre capturado” para tratar de reducir el número creciente de robos en sus comercios.

Se trata, por supuesto, de ejemplos anecdóticos, que no reflejan el resultado de estudios científicos. Vicary llegó a admitir más tarde que se había inventado los resultados divulgados para estimular la discusión y animar así su movimiento de negocio. De diferentes investigaciones psicológicas contrastadas no se infiere que las simples exhortaciones verbales, tipo “Beba coca-cola” o “Come palomitas”, incidan en nuestro comportamiento consumidor. El grupo encabezado por Anthony Greenwald, de la Universidad de Washington en Seattle,





**7. CAMPAÑA ELECTORAL PARA LA PRESIDENCIA DE LOS ESTADOS UNIDOS DEL AÑO 2000.** En un anuncio electoral de los republicanos se insertaba fugazmente en letras grandes la palabra “rats” (ratas) en medio de un discurso de Al Gore, el candidato opositor a la presidencia. Ante el reproche del partido demócrata de utilizar mensajes subliminales para influir en los electores, los productores del reportaje se excusaron: únicamente por un error técnico habían salido destacadas en la pantalla las últimas letras de la palabra “bureaucrats” (burócratas).

abordó la eficacia de los mensajes subliminales incluidos en cintas magnéticas, en un trabajo de investigación en que los participantes oían a diario, durante cinco semanas, las grabaciones musicales. Los mensajes ocultos intercalados en la pieza aludían al supuesto aumento de la capacidad memorística (“Mi memoria mejora de día en día”) o al fortalecimiento de la autoestima (“Tengo una alta autoestima”). La mitad de los participantes disponían de cintas caracterizadas correctamente; a la otra mitad se les habían entregado otras con etiquetas trucadas. Ni en un caso ni en otro el hecho de escuchar las cintas ejercía efecto alguno sobre determinaciones objetivas de la autoestima o de la memoria. Sin embargo, los participantes llegaron a creer, lo mismo los que recibieron las cintas correctas que los que tenían las trucadas, que sí mejoraba su autoestima o su capacidad de memoria.

### ¿Metamorfosados en marionetas por estímulos ocultos?

De acuerdo con el estado actual de la investigación, los simples mensajes exhortativos no influyen en nuestro comportamiento cuando nos llegan por debajo del umbral de nuestra percepción; lo que no equivale a afirmar que sea imposible la influencia subliminal. Un estudio experimental de Sheila Murphy, de la Universidad del Sur de California en Los Angeles, y de Robert Zajonc, de Stanford, fundamenta, entre otras cuestiones, esta afirmación. En el ensayo, los participantes tendían a valorar positivamente algunos signos de la escritura china si antes habían recibido subliminalmente imágenes de una cara alegre; la valoración no era, por el contrario, tan posi-



tiva cuando aparecía una faz con gesto rabioso o una figura geométrica. Hay otros estudios con fotografías presentadas por debajo de nuestro umbral de percepción y que pueden llegar a influir en nuestro comportamiento social.

Se ha de advertir, no obstante, que estos resultados no se pueden trasladar inmediatamente a situaciones reales y de gran complejidad. En todos estos estudios se trata de situaciones de laboratorio en las que los participantes se hallan sometidos a influjos controlados. Por ejemplo, el influjo subliminal presupone que los participantes en el estudio se encuentran acomodados en una silla o un sillón y a una distancia de la pantalla del ordenador exactamente determinada. Ahí les llegan unos estímulos de una manera que sería imposible en proyecciones de películas o en la pantalla televisiva.

Los estudios de laboratorio no investigaron en ningún caso la cuestión clave de si los participantes en el experimento ejecutaban determinadas acciones contra su voluntad como consecuencia de cualquier influencia subliminal. Quizás algunas incitaciones programadas de forma oculta puedan llevar a los participantes en estos experimentos de laboratorio a una valoración de los estímulos equívocos o desconocidos algo más positivamente, o a que los enfoquen de

una forma más negativa. Pero seguramente no pueden conseguir que los consumidores, cual marionetas, compren en los supermercados productos que en realidad no querían adquirir.

A la luz de los datos disponibles, sólo cabe concluir que los mensajes ocultos y presentados por debajo del umbral de la percepción no obtienen más éxito que las formas habituales de publicidad. El éxito de la publicidad no depende tanto del ingenio de los creativos de la agencia cuanto del modo en que el entorno social vehicula hacia el consumidor dicha información y de cómo éste la procesa y la utiliza ante la decisión de adquirir tal o cual producto.

ARND FLORACK y MARTIN SCARABIS enseñan psicología social en la Universidad de Münster.

#### Bibliografía complementaria

WERBE- UND KONSUMENTENPSYCHOLOGIE. EINE EINFÜHRUNG. G. Felser. Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, 2001.

CONSUMER BEHAVIOR & MANAGERIAL DECISION MAKING. F. R. Kardes. Addison-Wesley; Reading, MA, 1999.

# La memoria de la mosca

Con su cerebro minúsculo, la mosca del vinagre posee una memoria notable, que sirve de modelo para la investigación de la humana.

Se conocen ya los genes implicados en el proceso rememorador y las proteínas por ellos determinadas

Raphäel Hitier, Florian Petit y Thomas Préat

**A**nte el errático deambular de la mosca del vinagre por los cristales de la ventana de la cocina, nadie hablaría de un animal inteligente. Sin embargo, *Drosophila melanogaster*, su denominación linneana, está capacitada para desarrollar comportamientos complejos. Su actitud natural depende de la experiencia retenida en la memoria; además, nuestro díptero puede aprender a reaccionar ante determinados estímulos, a la manera en que el perro de Pavlov segregaba saliva cuando oía el tañir de la campanilla de la pítanza.

El cortejo nupcial constituye uno de los comportamientos donde mejor se expresa la capacidad retentiva de la mosca del vinagre. El macho manifiesta su interés por una hembra a través de una secuencia de conductas estereotipadas (canto vibratorio, danza y estimulación sexual), que se aprecian a simple vista. El macho joven e inexperto prueba suerte siempre que se encuentra con una hembra. Ahora bien, la hembra sólo se apareja una vez por semana, pues así almacena suficientes espermatozoides que fecundar con su puesta diaria de 20 huevos. La hembra recién fecundada rechaza nuevos pretendientes; emite feromonas (hormonas de comunicación entre los individuos) que los machos comienzan a asociar con el rechazo (aprendizaje asociativo). Avezado por esa experiencia, el macho desatendido no malgasta energías en el cortejo, a diferencia del novato.

Aunque esta observación pone de relieve la capacidad de aprendizaje de la

mosca, y ha posibilitado depurar la descripción de la memoria, no nos permite una medida fácil de las capacidades mnésicas. En el fenómeno entran parámetros difícilmente controlables que entrañan una gama amplia de comportamientos.

## Memoria visual y memoria olfativa

Para medir con mayor precisión la memoria se han elaborado protocolos de aprendizaje asociativos más estandarizados. Uno de los más espectaculares es el simulador de vuelo. Lo ideó y construyó Martin Heisenberg con su grupo de la Universidad de Würzburg. Sirve para medir la memoria visual. En el centro de un palenque panorámico móvil, se halla suspendida la mosca por la espalda a un filamento de cobre, ligado éste a un aparato que mide las torsiones impresas por los movimientos del díptero. Cuando el insecto se apresta a orientar su vuelo hacia la izquierda, el palenque panorámico gira hacia la derecha, confiriéndole así a la mosca la impresión de que está a punto de girar. La mosca puede optar por volar frente a dos formas geométricas, una T y una T invertida, que constituyen estímulos neutros.

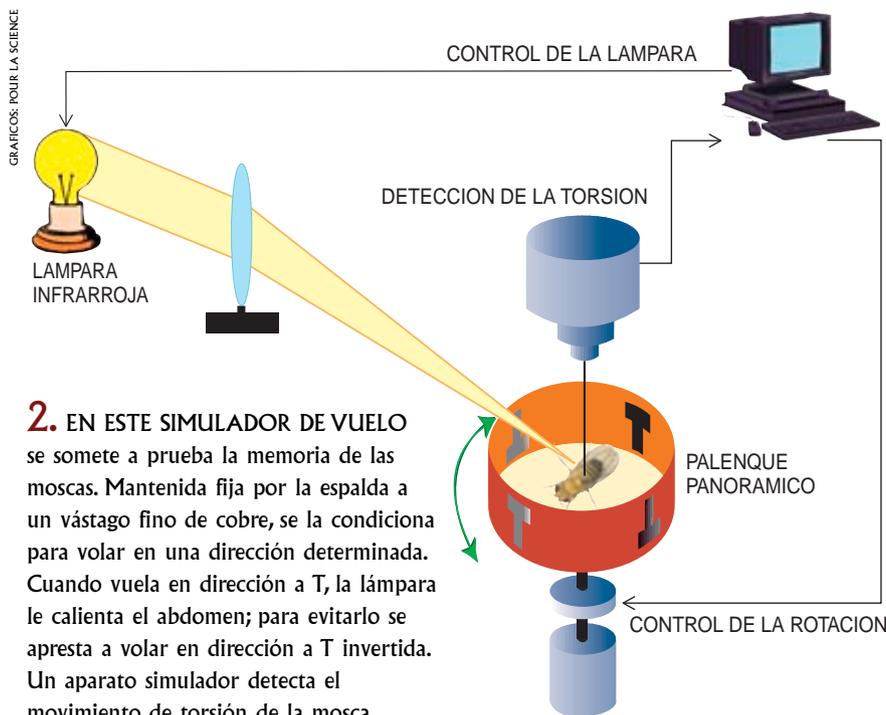
El experimento arranca con un entrenamiento (el condicionamiento): una lámpara calienta el abdomen de la drosófila cuando “vuela” hacia la T recta, pero no cuando se dirige hacia la T invertida. La mosca asocia la sensación de calor a la percepción visual de T. Se trata de un aprendizaje “operativo”, porque la mosca puede huir del estímulo negativo en todo momento. Aprende en respuesta a su exploración activa del entorno.

Después de la fase de condicionamiento comienza la prueba de memoria: se registra la dirección del vuelo de la mosca en ausencia de estímulos térmicos. Si la mosca ha aprendido la lección, evitará la T, asociada al calor, para orientarse de preferencia hacia la T invertida. El tiempo tardado por la mosca en su dirección hacia la T invertida mide su memoria visual. Después de 24 horas sin condicionamiento, la mosca vuela indiferentemente en la dirección de las dos formas geométricas. Retiene la información que identifica T con peligro, la memoriza y acaba por olvidarla en ausencia de nuevo refuerzo.

Si la mosca posee una memoria visual, el modelo de aprendizaje más robusto y fiable concierne a la olfacción. Nos permite un análisis estadístico de la memoria, puesto que involucra una población de moscas. Fue ideado en los años setenta del siglo XX por Seymour Benzer y su grupo, del Instituto de Tecnología de California; aquí el condicionamiento olfativo de la drosófila se fundamenta sobre la asociación de un olor y una descarga eléctrica: las moscas tienden entonces a evitar el olor en cuestión, incluso en ausencia de descarga. El experimento procede como sigue: se encierra un grupo de moscas en un tubo recubierto en su interior por una malla electrizable, recorrido por una corriente de aire cargada de olor. Se someten las moscas a un primer olor al tiempo que a descargas eléctricas. Se les presenta a renglón seguido un segundo olor, sin descarga acompañante. Por último, las moscas son llevadas a un punto de elección en el que pueden moverse libremente en dos compartimientos que contienen, cada

1. *DROSOPHILA MELANOGASTER* constituye un modelo óptimo para el estudio del proceso de formación de la memoria. La imagen procede de un microscopio electrónico de barrido, posteriormente coloreada.





**2. EN ESTE SIMULADOR DE VUELO** se somete a prueba la memoria de las moscas. Mantenido fija por la espalda a un vástago fino de cobre, se la condiciona para volar en una dirección determinada. Cuando vuela en dirección a T, la lámpara le calienta el abdomen; para evitarlo se apresta a volar en dirección a T invertida. Un aparato simulador detecta el movimiento de torsión de la mosca y ordena la rotación, en contrario, del palenque. La mosca que retenga en la memoria lo acontecido evitará la T, incluso en ausencia de calor.

uno, uno de los dos olores empleados en el condicionamiento, esta vez, empero, sin descargas. Al final de la prueba, se procede al recuento de las moscas instaladas en cada compartimiento. Inmediatamente después del condicionamiento, la mayoría de las moscas eligieron bien. Examinando la conducta de las moscas en diferentes momentos posteriores al condicionamiento se mide el declive progresivo de la memoria. Puesto que el diseño permite estudiar muchos animales en poco tiempo, el

ensayo sirve para descubrir no sólo diferencias individuales, sino también entre estirpes.

### Genes y memoria

La especie *Drosophila melanogaster* habita en la mayoría de las zonas templadas del globo. De un lugar geográfico a otro, la evolución de las cepas sigue un curso diferente; presentan importantes variedades genéticas. Las cepas de laboratorio portan nombres curiosos: Canton-S, Berlín o Vallecas. Distinguimos en ellas notables diferencias con respecto a la memoria. Aunque tales dis-

crepancias en su rendimiento resulten de modificaciones genéticas, la verdad es que la identificación de las mutaciones responsables resulta prácticamente imposible: las variaciones genéticas, de una cepa a otra, son tan numerosas, que no nos es dado el poder asociar específicamente una de ellas a la disminución de las capacidades mnésicas.

En un caso así lo mejor es emplear una estrategia directa. El análisis genético de las bases de la memoria se hace a partir de la cepa Canton-S, dotada de óptimas facultades mnésicas. A partir de esta cepa de referencia se obtienen cepas "hijas" que se distinguen de la progenitora en sólo una mutación, inducida artificialmente. De acuerdo con ese procedimiento se han creado en el laboratorio cantidades de mutantes donde la expresión de tal o cual gen se ha suprimido (deja de fabricarse la proteína cifrada por el gen en cuestión). Si la proteína sirve normalmente para el funcionamiento de circuitos nerviosos de la memoria, el mutante adolecerá de una memoria pésima. El investigador tratará entonces de analizar la función normal de esta proteína en dicho mecanismo particular.

Pero, ¿cómo obtener miles de moscas mutantes al objeto de seleccionar aquellas cuya memoria es defectuosa? Una de las primeras técnicas empleadas fue la mutagénesis química. Al administrar sustancias químicas a las moscas, se modifica aleatoriamente la composición de su ADN, lo que puede inactivar por azar un gen en un gameto (célula reproductora). Tal mutación podrá entonces transmitirse a alguno de sus descendientes. Pero con este método resulta harto difícil encontrar el gen mutado. ¿Cuál de los miles de genes ha sido alterado?

Hoy se utiliza la mutagénesis por transposición. Los transposones son secuencias

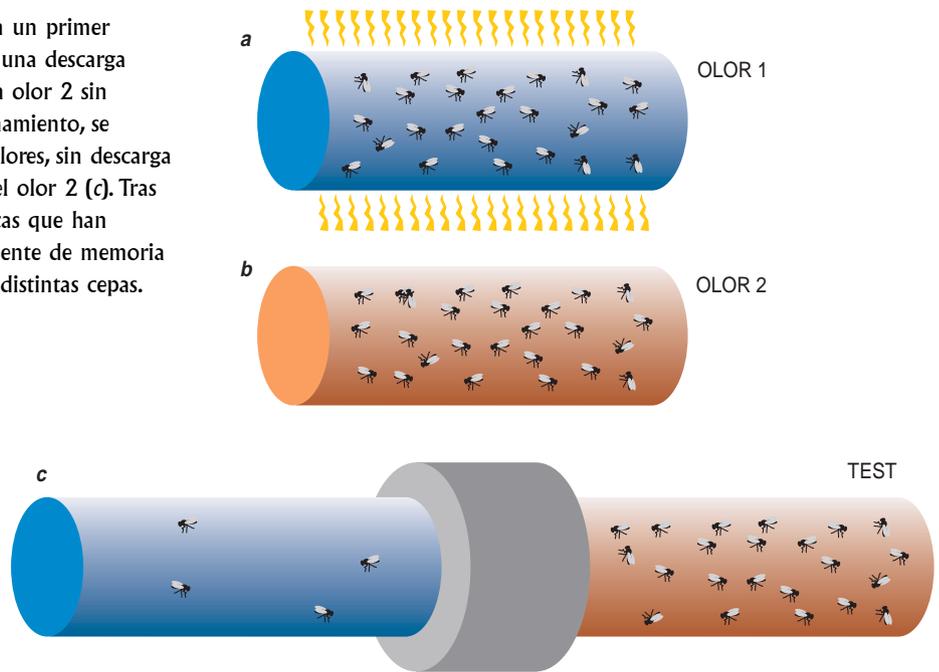
## Drosophila: Un modelo para estudios genéticos

Quizá parezca extraño investigar los mecanismos moleculares de la formación de la memoria precisamente en la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*). Sin embargo, tales análisis en drosófila, ratones o incluso en *Aplysia* (un molusco) suministran un modelo simplificado para desentrañar los mecanismos de la memoria y la plasticidad sináptica en el hombre. Existen dos razones por las cuales la mosca del vinagre es uno de los mejores organismos para estudios genéticos. Una, su fácil crianza y otra, su pequeño genoma, de sólo cuatro pares de cromosomas. De ahí que su genoma haya sido ya secuenciado entero en el año 2000. ¿Qué conexión hay entre *Drosophila*, el ratón y el hombre?

Por diferentes que sean las anatomías de sus cerebros, los genes responsables y por tanto las proteínas correspondientes se parecen entre sí. De un antepasado común, los tres mantienen las mismas características para almacenar información.

La mayoría de los genes aislados de *Drosophila* tienen homólogos en los mamíferos, con 30-80 % de conservación de la secuencia. Ocurre así con los genes *dunce* y *rutabaga*. El gen *dunce* de la rata, introducido en el genoma de la mosca, puede substituir la función del gen defectivo de la mosca. De esta manera las moscas mutantes recuperan casi toda su capacidad de memoria perdida.

**3. CONDICIONAMIENTO OLFATORIO.** En un primer tiempo, se somete las moscas a un olor 1 y a una descarga eléctrica (a). Luego, se somete las moscas a un olor 2 sin descarga eléctrica (b). Acabado este condicionamiento, se coloca a las moscas en presencia de los dos olores, sin descarga eléctrica. La mayoría de las moscas escogían el olor 2 (c). Tras el recuento de la proporción relativa de moscas que han optado por esta elección, se establece un cociente de memoria que permite comparar las capacidades de las distintas cepas.



naturales de ADN que gozan de capacidad de moverse por el genoma de un modo aleatorio e inactivar un gen insertándose en él o en su vecindad. Al introducir un transposón en el genoma de la cepa Canton-S, se engendra una mutación aleatoria. Miles de mutaciones pueden obtenerse a partir de una primera cepa mutante, dejando saltar de nuevo el transposón de un sitio a otro. Esta técnica presenta una ventaja: la facilidad con que puede localizarse la inserción del transposón en el cromosoma del mutante. Cerca del sitio de inserción se hallará el gen afectado.

El aislamiento de mutantes de memoria entre el conjunto de líneas mutantes obtenidas por mutagénesis se basa en la medición cuantitativa de la memoria de cada línea. En el caso del condicionamiento olfatorio, a las tres horas del condicionamiento el 80 por ciento de las moscas Canton-S prefieren el olor inofensivo. Todo linaje que posea una memoria olfativa significativamente diferente (inferior o superior) será considerado un mutante potencial de memoria. En promedio, de varios centenares de linajes examinados se aísla una o dos cepas mutantes. Sobre ellas se trabaja.

Antes de afirmar que la mosca mutante presenta realmente un defecto funcional de un centro de la memoria, conviene asegurarse de que no se encuentran dañados otros caracteres fundamentales de la

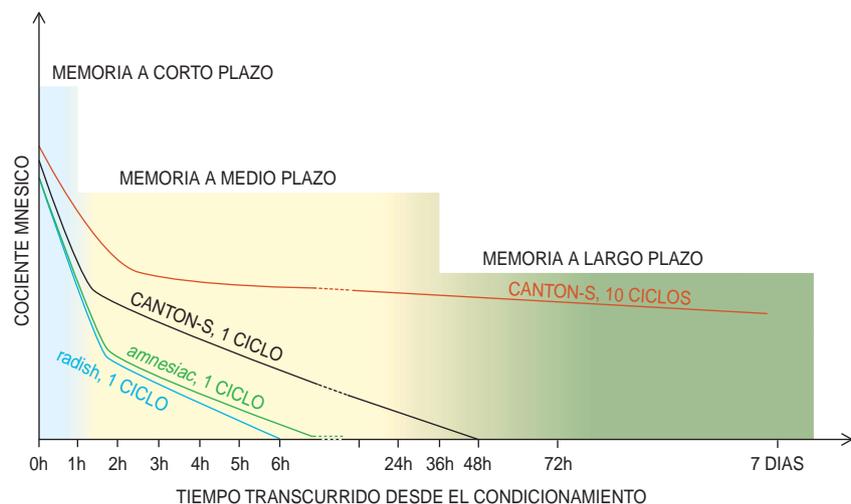
mosca. En efecto, el test de medida de la memoria olfativa necesita una buena percepción de los olores y de las descargas eléctricas. La integridad de tales funciones se verifica en el curso de tests de comportamiento sencillos. Por otro lado, importa controlar que el desarrollo del cerebro sea normal, en particular por lo que concierne a los cuerpos pedunculados, centros de la memoria olfativa. Un método eficaz para confirmar la ausencia de defectos ligados al desarrollo consiste en restaurar una capacidad mnésica normal en el mutante mediante el restablecimiento, por técnicas de biología molecular, de la función del gen sólo en estado adulto, mientras que esta

función persiste abolida en el curso del desarrollo del individuo.

### Fases de la memoria

A menudo se distingue entre memoria a corto y a largo plazo. En *Drosophila* existe una memoria a corto plazo, observada hasta una hora después del condicionamiento; hay también una memoria a medio plazo, observada entre una hora y 48 horas después. Un experimento de suma elegancia nos pone de manifiesto dos componentes de la memoria a plazo medio. Si se enfrían las moscas a una temperatura de cuatro grados, se desvanece parte de la información almacenada en el cerebro de estas moscas condiona-

**4. DIFERENCIAS EN EL TEST DE LA MEMORIA.** Las curvas que recapitulan la evolución de los cocientes mnésicos ponen de relieve varias fases de memoria, en particular una memoria a medio plazo. Individuos de la cepa salvaje, Canton-S, evitan con tan sólo un ciclo de condicionamiento y hasta 24 horas después el olor "peligroso". Después de diez ciclos de condicionamiento el aprendizaje pasa a la memoria a largo plazo. La memoria de las cepas mutadas *amnesiac* y *radish* es peor.



das (lo mismo que en los mamíferos una anestesia transitoria puede entrañar una amnesia parcial). Se ha demostrado así que la información se almacena de dos maneras diferentes, transcurridas unas horas después del aprendizaje: por una parte, una memoria inestable, sensible al frío (criosensible), que correspondería a un almacenamiento de la información bajo la forma de una modificación de la actividad eléctrica de la red neuronal; y, por otro lado, una memoria consolidada que resulta de una modificación molecular estable y, por tanto, insensible al frío (criorresistente).

Esta hipótesis de una memoria a medio plazo dual ha recibido el respaldo del descubrimiento de diferentes mutantes en los que se ha alterado uno u otro componente de la memoria. Por ejemplo, la drosófila mutante *radish* es incapaz de retener datos en una memoria consolidada mientras que mantiene intacta su memoria inestable; por contra, la cepa mutante *amnesiac* conserva su memoria consolidada, mientras que está alterada su memoria inestable.

Igual que en los mamíferos, la memoria de *Drosophila* se refuerza con tandas de repetición del condicionamiento,

respetando un tiempo de reposo entre cada ciclo. Diez sesiones de exposición a un olor asociado a una descarga eléctrica engendran una memoria a largo plazo que persiste al menos durante una semana (duración media de la vida de una drosófila en la naturaleza). En la cepa mutante *amnesiac* no existe tal memoria a largo plazo, mientras sí persiste funcional en *radish*.

### Bases moleculares de la memoria

¿Cuáles son las funciones fisiológicas alteradas en los mutantes de memoria? Los dos primeros mutantes de memoria aislados en una criba de memoria olfativa recibieron los nombres de *dunce* y *rutabaga*. Ambos mutantes poseen unos rendimientos mnésicos muy inferiores a la cepa originaria. Tras una laboriosa investigación del equipo dirigido por el equipo de Ronald Davis, del Colegio Universitario Baylor en Houston, se identificaron los genes mutados. El gen modificado en el mutante *dunce* activa normalmente la síntesis de fosfodiesterasa, una enzima. En la drosófila *rutabaga* el gen

mutado determina la adenilato-ciclasa. Ambas enzimas intervienen en la regulación de la concentración del AMPc en el seno de los cuerpos pedunculados. Sabido es que el AMPc participa en numerosas vías de señalización utilizadas por la célula para introducir ciertas indicaciones extracelulares. Además, las investigaciones en *Aplysia* habían ya demostrado que esta molécula intervenía en aprendizajes rudimentarios, así en la sensibilización y habituación.

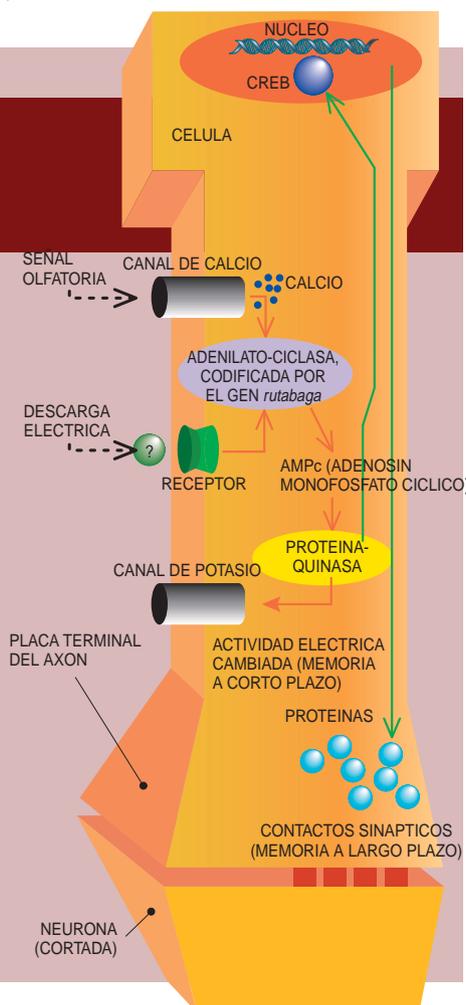
Apoyados en la intervención del AMPc en la memoria, algunos le asignan la función de “detectora de coincidencias” a la proteína rutabaga. Detengámonos en el modelo. La información olfatoria que proviene de los lóbulos de las antenas se transmite a los cuerpos pedunculados. En estos últimos, la información engendra una corriente eléctrica que aumenta la concentración de calcio intracelular, activadora de la proteína cifrada por el gen *rutabaga*, la adenilato-ciclasa. Paralelamente, la percepción de la descarga eléctrica queda integrada por el cerebro liberando un neurotransmisor que activa un receptor (no identificado) en la superficie de las neuronas de los cuerpos pedunculados. Activada, la molécula cifrada por el gen *rutabaga* que se halla alojada en la membrana de la neurona. Puesto que esta enzima sintetiza el AMPc, aumenta la concentración intracelular del mismo.

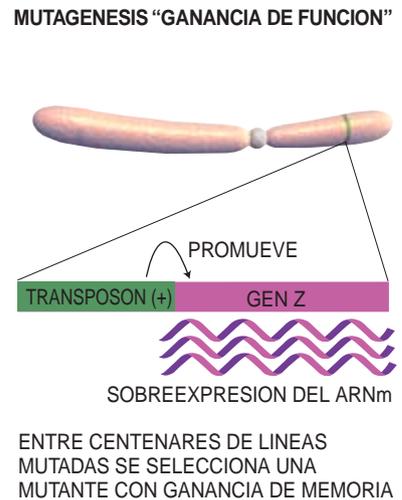
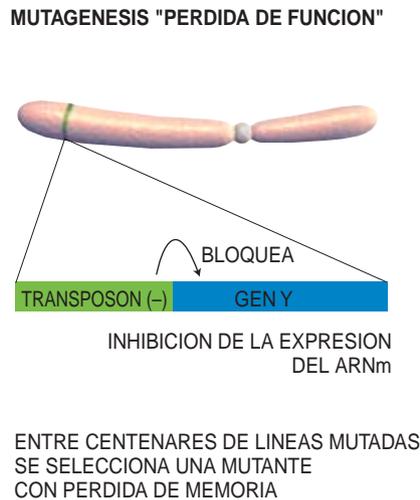
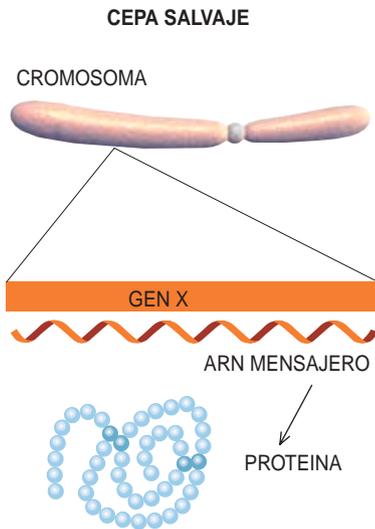
La concentración del AMPc alcanzará su nivel crítico en el caso exclusivo de que las dos vías de estimulación intervengan conjuntamente, una representando el estímulo “olor”, la otra el estímulo “descarga eléctrica”. Las propiedades eléctricas de la neurona se modificarían entonces, de suerte que se viera facilitada su activación. En el test de memoria, bastaría ahora la presentación del olor sin descarga eléctrica para desencadenar la misma cascada de señales que induce la huida de la mosca. Este modelo de detector de coincidencia desempeñado por la vía del AMPc se ha confirmado y enriquecido merced al análisis fino de los primeros mutantes de memoria y la identificación de nuevos mutantes.

El gen *amnesiac*, imprescindible para la memoria criorresistente a medio plazo, cifra un neuropéptido (molécula modificadora de la comunicación entre neuronas) que se sintetiza en dos neuronas conectadas con los cuerpos pedunculados. De los mamíferos se sabe que la liberación de una molécula similar aumenta la concentración de AMPc en las células diana. En *Drosophila*, el apren-

## Base molecular de la formación de la memoria

Si los dos estímulos “olor” y “descarga eléctrica” se perciben simultáneos, engendran en las neuronas de los cuerpos pedunculados una intensa actividad de la adenilato-ciclasa (proteína producida por el gen *rutabaga*). La enzima fabrica AMPc; aumenta, pues, la concentración intracelular del mismo. A renglón seguido, el AMPc estimula una proteína-quinasa, que altera las propiedades eléctricas de la neurona por modificación de los canales de potasio; cambiados en consecuencia los potenciales de membrana, la neurona se torna más fácilmente excitable. Estas acciones forman la base de la memoria a corto plazo. Al propio tiempo, la quinasa activada entra en el núcleo y estimula la proteína CREB que promueve la transcripción de varios genes cuyos productos finales (proteínas) forman nuevos contactos sinápticos (memoria a largo plazo).





dizaje aumentaría la liberación de la proteína determinada por el gen *amnesiac*, que induciría la activación de la proteína determinada por el gen *rutabaga*, responsable de la excitabilidad de las neuronas. La formación de la memoria sensible a la anestesia se debería así a un aumento de la actividad eléctrica de los cuerpos pedunculados a través de un reforzamiento químico de la comunicación entre neuronas.

### Proteínas estabilizadoras de la memoria

¿Qué es lo que distingue las memorias a medio plazo —la frágil (sensible al frío) y la consolidada (resistente al frío aunque decrece muy rápida con el tiempo)— de la memoria a largo plazo? La estimulación de la vía AMPc puede modificar rápidamente la actividad de las proteínas ya presentes en las neuronas de los cuerpos pedunculados durante la fase de aprendizaje. Estas modificaciones no precisan de la síntesis de nuevas proteínas tras el condicionamiento. Sin embargo, en muchas especies, incluida

**5. CREACION DE MUTANTES DE LA MEMORIA.** En la mosca salvaje, no mutada, el ARN mensajero (ARNm) transcribe el mensaje contenido en el gen. En los huevos de mosca se inyecta una secuencia de ADN móvil, un transposón, que se integra de manera aleatoria en un gen bajo la acción de una transposasa. Desplazando el transposón por cruzamiento, se engendran cientos de mutantes diferentes. Según el transposón empleado para generar las estirpes mutantes, se puede inactivar un gen (mutagénesis “pérdida de función”) o sobreexpresarlo (mutagénesis “ganancia de función”). En este último caso, la línea mutante podrá tener una memoria aumentada.

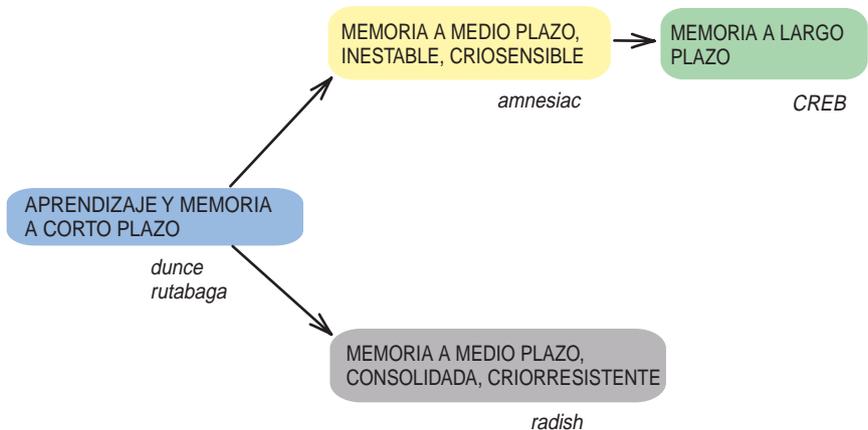
*Drosophila melanogaster*, la retención mnésica a largo plazo depende de la síntesis de proteínas específicas tras la fase de condicionamiento.

Aquí vuelve a entrar en escena el AMPc. La estimulación de la proteínaquinasa A, que resulta directamente del aumento de la concentración de AMPc, promoverá la síntesis de la proteína CREB, que penetrará en el núcleo de la célula para desencadenar específicamente la expresión de ciertos genes. Las proteínas codificadas por estos genes modificarán perdurablemente la red neuronal mediante la instalación, por ejemplo, de nuevos contactos sinápticos.

Si bien los biólogos disponen así de un esquema de la retención duradera de la información, están lejos de comprender los pormenores de la cascada de acontecimientos involucrados, lo mismo en el hombre que en el animal. Merced a los avances recientes en genética molecular, la drosófila nos ofrece un modelo simplificado precioso. En ese marco, ¿constituye acaso la mejor estrategia la búsqueda de mutantes “pérdida de función”, vale decir, el estudio del efecto de la destrucción de un gen sobre la capacidad de memorización a largo plazo? No necesariamente. La modificación de las conexiones nerviosas en el adulto subsiguientes

### 6. DE LA MEMORIA A CORTO PLAZO A LA MEMORIA A LARGO PLAZO.

La memoria a corto plazo, abolida en los mutantes *dunce* y *rutabaga*, se transforma en el curso del tiempo en memoria a medio plazo de dos tipos: una memoria consolidada, alterada en el mutante *radish*, y una memoria inestable, alterada por el frío y por la mutación *amnesiac*. En el transcurso del condicionamiento intensivo de la cepa normal, esta memoria lábil da origen a la memoria a largo plazo.



## Corte de una cabeza de *Drosophila*



RAPHAËL HITIER

Los centros de la memoria de los olores son los “cuerpos pedunculados” (L, véanse las flechas). Se han hecho visibles mediante una tinción con un anticuerpo contra una proteína específica. Se trata de una estructura bilateral constituida

por unas 5000 células cuyos axones forman un pedúnculo que se divide en diferentes lóbulos. Los cuerpos pedunculados reciben la información de los lóbulos de las antenas, que son los responsables de la percepción de los olores.

a la memorización a largo plazo reclama, a buen seguro, la intervención de factores de plasticidad neuronal que se requieren también para la formación del cerebro. Si por una mutación se perdiera la función de un gen decisivo para el desarrollo del animal, la muerte precoz impediría descubrir el papel del gen en los mecanismos de la memoria.

Para salir al paso de esta dificultad, no procedemos a inactivar el gen, sino que promovemos su sobreexpresión, en razón de la cual aumenta la cantidad de proteína. Podemos, además, causar tal sobreexpresión en determinadas neuronas; nos servimos de ese método en nuestro laboratorio para sacar a la luz las proteínas que refuerzan las conexiones sinápticas en los cuerpos pedunculados y aumentan así las capacidades mnésicas.

Con otro planteamiento se facilitaría también la identificación de proteínas implicadas en la memoria a largo plazo. Hemos seleccionado unas decenas de estirpes de drosófilas que llevan incorporado en el genoma un marcador artificial; mide éste indirectamente el nivel

de expresión de un gen en los cuerpos pedunculados, es decir, la cantidad de proteínas que produce en el centro de la memoria. Ahora bien, tras el condicionamiento, la expresión de ciertos genes que intervienen en la memorización a largo plazo varía. Podemos aislar esos genes comparando la expresión del marcador en las moscas sin condicionar y condicionadas para una memoria a largo plazo.

Gracias al conjunto de esos enfoques, se espera hallar nuevas vías bioquímicas implicadas en el proceso de memorización de las drosófilas. Pero de la mosca al hombre media un gran trecho. El ratón podría constituir una etapa intermedia. Una vez identificados los genes de ratón homólogos a los de drosófila, podemos producir ratones mutantes, *knock-out*, donde analizar las facultades mnésicas. Por último, las proteínas cifradas por los genes homólogos humanos podrían convertirse en dianas potenciales de medicamentos prescritos para demorar los efectos de las enfermedades neurodegenerativas.

RAPHAËL HITIER, FLORIAN PETIT Y THOMAS PRÉAT se hallan adscritos al Laboratorio de desarrollo, evolución y plasticidad del sistema nervioso en Gif-sur-Yvette. Los dos primeros trabajan en el grupo “genoma, memoria y desarrollo” que dirige Préat.

### Bibliografía complementaria

GENETIC DISSECTION OF CONSOLIDATED MEMORY IN *DROSOPHILA MELANOGASTER*. T. Tully, T. Préat, S. Boynton y M. Delvecchio en *Cell*, vol. 79, pág. 35; 1994.

INTEGRIN-MEDIATED SHORT-TERM MEMORY IN *DROSOPHILA*. M. Grotewiel, C. Beck, K. H. Wu, X. R. Zhu, R. Davis en *Nature*, vol. 391, pág. 455; 1998.

LOCALIZATION OF SHORT-TERM MEMORY IN *DROSOPHILA*. T. Zars, M. Fischer, R. Schulz y M. Heisenberg en *Science*, vol. 288, pág. 672; 1998.

TESTING ASSOCIATIVE LEARNING IN *DROSOPHILA*. T. Préat en *Handbook of Molecular-Genetic Techniques for Brain and Behaviour Research*, dirigido por W. Crusio y G. Gerlai. Elsevier Science, Amsterdam, Nueva York, 1999.

## MENTE, CEREBRO Y SOCIEDAD

# Rescate desde el estadio

Desde hace ya algunos años existe un campeonato de fútbol para robots. Se ha dado un nuevo avance con el diseño de autómatas para el rescate de víctimas en casos de catástrofe

Bernhard Nebel

¿Qué relación guarda el fútbol con una catástrofe? No, no se trata de los resultados de esta temporada de ningún equipo en particular. El fútbol y las tareas de salvamento en casos de emergencia son cuestiones centrales de la investigación robótica, campos en los que los ingenieros de robots miden sus fuerzas en competiciones internacionales.

No se debe al azar el interés de los investigadores en situaciones que demanden de los robots capacidad de trabajar en equipo y desenvolverse de forma autónoma en entornos exigentes. Si bien estas máquinas han alcanzado un nivel altísimo en pruebas de tipo intelectual, como por ejemplo, en el juego del ajedrez, tienen todavía un gran retraso respecto al hombre cuando se trata de captar imágenes, procesar el lenguaje o moverse con soltura en todo tipo de situaciones.

¿Qué puede revestir mayor interés, para los investigadores en robótica, que abordar deportes en los que el cuerpo importe sobremedida? Esta reflexión llevó a Hiroaki Kitano y su grupo a crear, en 1997, RoboCup; con esta competición de fútbol para robots hacían frente a un nuevo reto para la inteligencia artificial y las disciplinas con ella emparentadas. Soñaban esos visionarios con el día, quizá medio siglo después, en que futbolistas de carne y hueso hubieran de dirimir un campeonato del mundo con un equipo de robots. Mas, para quien haya asistido a un partido de fútbol entre robots, esa proeza roza la utopía. Antes de poder ver robots humanoides desenvolviéndose sobre un terreno de juego,

habrán de resolverse varios problemas. El grupo de Kitano creó tres torneos diferentes; en ellos, los participantes actuarían con plena autonomía, vale decir, sin la guía del hombre:

- En el campeonato de simulación, los jugadores no salen del campo virtual del ordenador. Los ingenieros pueden, pues, concentrarse en los aspectos relacionados con el juego de equipo y olvidarse de la movilidad y la visión de los robots. No carece de emoción un partido de este torneo, pese a que los jugadores sean sólo puntos amarillos y rojos sobre un fondo verde.

- En el campeonato F180 juegan equipos de cinco robots en una mesa de ping-pong; cada individuo presenta una superficie de unos 180 centímetros cuadrados. Los robots reciben las informaciones de su entorno principalmente a través de

una cámara fija situada sobre el terreno de juego. Se trata así de una simplificación rudimentaria y no realista de la situación. A pesar de ello, los ingenieros han de habérselas con numerosos problemas relativos a la interpretación de las informaciones y la ejecución de las acciones.

- En el campeonato F2000 se alinean 4 robots por equipo con una superficie de 2000 centímetros cuadrados cada uno sobre un campo de 10 por 5 metros.

### Futbolistas de movimiento limitado

En este último torneo los robots deben confiar en sus "ojos" para saber de su entorno y sus contrarios. Los espectadores de la RoboCup 1997 comprobaron las dificultades que eso entrañaba. La mayoría de las veces los robots no se



### 1. SIMULACRO DE CATASTROFES:

Un robot de salvamento a la búsqueda de víctimas.

movían y, cuando lo hacían, era en general en dirección contraria al balón. Las contadas ocasiones en que llegaban al balón solían desplazarlo en la dirección errónea. Uno de los partidos terminó 2 a 2, pero marcó todos los goles un mismo equipo. Los tiempos cambian: de entonces acá, el nivel de juego ha mejorado de forma extraordinaria.

Desde 1999 existe, aparte de las ya mencionadas, una competición para robots dotados de cuatro extremidades, los “Aibo” de la empresa Sony, así como una liga para escolares en la que participan robots de la compañía Lego. En estos campeonatos el hardware es el mismo para todos los futbolistas, lo que permite comparar el software utilizado por cada jugador. Para los próximos años está prevista una liga para robots con dos extremidades.

Para jugar a fútbol, un robot debe reunir muchas facultades. En primer lugar necesita sensores para captar las informaciones de su entorno. Los requiere para determinar la situación tanto del balón como de sus compañeros y contrarios. Además, tiene que disponer de elementos (actuadores) con los que pueda ejecutar las diferentes acciones en el terreno de juego, en especial moverse con rapidez y conducir el balón.

El CS Freiburg (Computer-Science Freiburg) es el equipo de fútbol de robots del departamento de informática de la Universidad Albert Ludwig de Freiburg. Sus “astros” utilizan técnicas que les han permitido ganar tres veces el campeonato F2000. Los actuadores de que disponen son dos ruedas accionadas separadamente, un dispositivo móvil para la conducción dirigida del balón y un chutador accionado mediante muelles. Por sensores portan una cámara para captar el balón, un escáner de rayos láser para reconocer los límites del terreno de juego y a los otros jugadores, así como un dispositivo interno que mide la distancia recorrida. Otros equipos se sirven de técnicas diferentes. Existen, por ejemplo, robots con accionamientos que les permiten moverse en cualquier dirección, con independencia de cuál sea su orientación en cada momento.

### Alucinaciones

Sin embargo, no todo está resuelto con buenos sensores y actuadores. Los robots deben saber interpretar los datos proporcionados por los sensores y controlar los actuadores; para ello cuentan con un ordenador en miniatura. La tarea principal de cada jugador es decidir constantemente qué acciones debe realizar. Para ello son necesarias una elevada

velocidad de reacción, la capacidad de pensar a largo plazo y sopesar las diferentes alternativas que se presentan. Además, los robots han de sortear los posibles errores y perturbaciones de los sensores o los derivados de la interpretación de las informaciones. (Frecuentemente ocurre que un jugador tiene “alucinaciones”, por ejemplo, que ve un balón donde no lo hay.) Al igual que en el fútbol real, las habilidades individuales no importan menos que el juego en equipo.

El modelo a seguir es siempre el fútbol entre humanos, aunque de momento haya aspectos que no se pueden emular, como el juego de cabeza. En otros aspectos los ingenieros de robots van más allá del fútbol real. Por ejemplo, nuestro equipo CS Freiburg se comunica por radio. Gracias a ello pueden evaluar mejor las posiciones y detectar “alucinaciones” propias o de otros jugadores.

El trabajo en equipo es esencial no sólo para la percepción, sino también para la correcta ejecución de las tareas. Cada jugador debe desempeñar un papel determinado en función de su posición en el campo. Este reparto de papeles no está prefijado; se adapta a las circunstancias: cada jugador calcula qué beneficios puede aportar al equipo en cada función y envía el resultado de su análisis a los compañeros. Sobre esta base cada jugador elige el papel que comporte el mayor beneficio común, presuponiendo que los demás actuarán conforme al mismo procedimiento. De esta forma varios componentes del equipo pueden asumir las funciones de otros robots con limitación de movimientos o que se hallen fuera del campo.

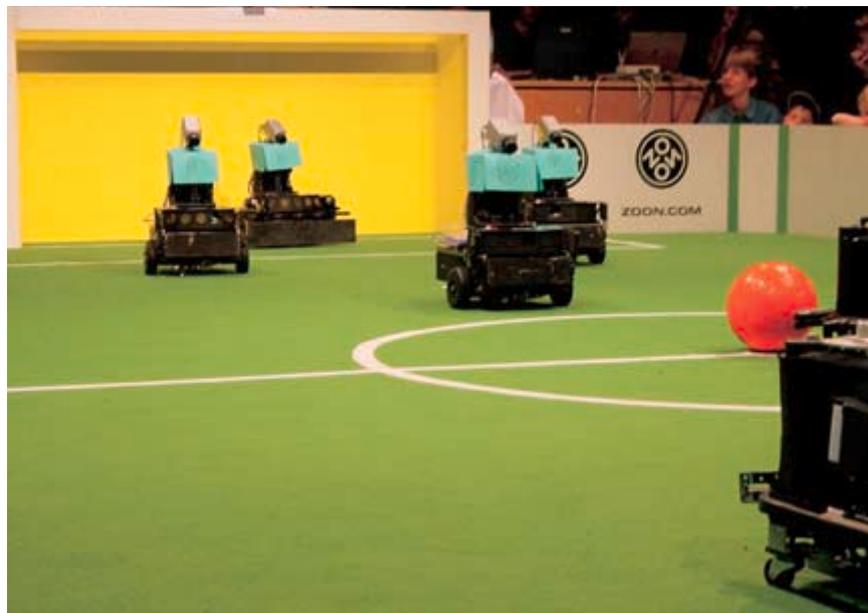
Las técnicas desarrolladas para la RoboCup se pueden aplicar en otros entornos. Hace poco se ha creado una nueva competición que reúne muchas similitudes con el fútbol para robots. Se trata de la Copa de Rescate RoboCup, una simulación de acciones de rescate asistidas por robots.

Los escenarios de desastres o catástrofes son lugares ideales para la utilización de robots altamente desarrollados. En caso de terremoto, si se quiere buscar y proteger a las víctimas que se encuentran en el interior de casas en peligro de derrumbe, es preferible emplear robots que personas en los equipos de salvamento. La coordinación de varios robots es en esa circunstancia, al igual que en el fútbol, muy importante. Se trata aquí, sin embargo, de coordinar un número de entre un centenar y mil en vez de cuatro como en el campeonato de fútbol F2000.

### Robots bomberos

Para conseguir una cierta coordinación son muy importantes la logística y la planificación a largo plazo. Se habla en estos casos de “sistemas multirrobot” o de forma más general de “sistemas multiagente”. En el campo de la investigación cibernética se denomina agente a las unidades materiales o simuladas que perciben su entorno y realizan acciones de manera autónoma.

## 2. ESPERANDO AL PITIDO INICIAL: el equipo del CS Freiburg antes del comienzo de un partido.



Lo mismo que en el fútbol para robots, las acciones de rescate de esta competición tienen lugar en escenarios tanto simulados como reales. Las simulaciones abarcan ciudades enteras, mientras que los entornos reales se ciñen a un número restringido de habitaciones. La primera competición de rescate RoboCup se celebró en agosto de 2001. En ella los equipos de robots debían resolver diversas situaciones límite, como por ejemplo apagar incendios o encontrar heridos, en el menor intervalo de tiempo posible. El vencedor en el campeonato de simulación fue Takeshi

Morimoto, de la Universidad de Electrocomunicaciones de Japón. En la competición sobre escenarios reales sólo se realizaron demostraciones, sin que hubiese reparto de puntos.

Esta competición tuvo un poder de atracción mucho menor que la de fútbol. Una de las razones puede estribar en que los espectadores estaban poco familiarizados con las reglas de la competición. Otra, que en ella no tiene lugar un enfrentamiento directo entre dos equipos. Para los científicos, sin embargo, esta competición apunta en la dirección correcta, ya que pone al descubierto las sinergias

que aparecen en los sistemas multirrobot y, sobre todo, tiene una utilidad muy tangible.

Al fin y al cabo, cualquiera de nosotros puede llegar a encontrarse en una situación en la que su vida dependa de la eficacia de un equipo de salvamento. Y quizá dentro de un tiempo sean los robots sus mejores integrantes.

---

BERNHARD NEBEL es profesor de informática en la Universidad Albert Ludwig de Freiburg.

# El reposo activo del cerebro

No existe reposo absoluto para el cerebro

**T**umbado en la playa tomando el sol a la orilla del mar, no piensas en nada, no te mueves. Pero, durante tan deliciosa situación de relajamiento, ¿está tu cerebro igualmente inactivo? No: Nathalie Tzourio-Mazoyer y Bernard Mazoyer, de la Universidad de Caen, han identificado unas áreas de la corteza cerebral que permanecen activas, aun cuando el individuo esté en reposo.

Mientras uno reposa, inmóvil y relajado, en ambiente de perfecta calma, su cerebro sigue recibiendo y tratando informaciones remitidas por sus órganos vitales (por el corazón, por ejemplo) o producidas por el cerebro mismo: durante cualquier “vagabundeo” mental, se generan palabras interiores e imágenes mentales. Esta “activación mínima” representa la actividad basal de referencia. Y es importante conocerla, porque para estudiar — mediante las técnicas de formación de imágenes del cerebro — la evolución de la activación de las áreas

del cerebro implicadas en tal o cual tarea, se ha de disponer de un estado de referencia para el órgano en reposo.

¿Cómo podemos determinar esta actividad mínima? En una primera fase, el equipo de Caen fue registrando la actividad cerebral por medio de una cámara de emisión de positrones sobre 63 personas puestas en reposo a oscuras y en silencio. A estos sujetos se les había pedido que se relajaran, se mantuvieran inmóviles y evitaran pensar. Luego, en una segunda fase, los mismos sujetos efectuaron diferentes tipos de tareas cognitivas, motoras y sensoriales: se les pidió que, mirando un casillero, apretaran un cursor cuando vieran que una determinada casilla se iluminaba; que nombrasen los objetos que les fueran presentando; que calcularan mentalmente; que al oír unas frases abstractas o unas historias apretaran el cursor en cuanto hubiese sido pronunciada la segunda palabra de la frase o de la historia; que miraran unas imágenes y apretaran el cursor en el momento en que

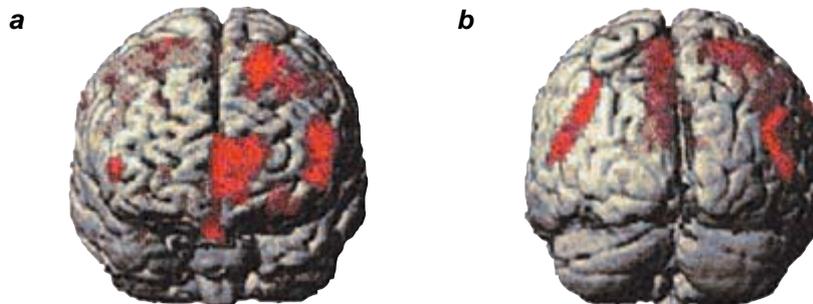
apareciera un ser vivo; que respondiesen a unos tests lógicos; y, en fin, que movieran el dedo índice derecho.

Comparando las imágenes obtenidas durante los períodos de reposo y las obtenidas durante la realización de las tareas cognitivas, los investigadores han podido distinguir las áreas cerebrales sistemáticamente más activas durante los períodos de reposo que durante cualquier tarea cognitiva. El estado de consciencia en el reposo está sostenido por varias áreas, organizadas en una red que participa de la memoria y del control ejecutivo, es decir, de la recordación y del manejo de pensamientos vagabundos característicos de tal estado.

En cambio, en los enfermos en estado de coma vegetativo, no funcionan en absoluto estas regiones que sí están activas durante el estado de consciencia en el reposo: resultado que confirma el que, al despertarse, aquellas personas no se acuerden de lo que les ha ocurrido, no habiéndoles asegurado su cerebro más que las funciones vitales del organismo.

## LAS AREAS ACTIVADAS (en rojo)

durante el estado de consciencia en el reposo se hallan repartidas por zonas bien definidas del hemisferio izquierdo (*a la derecha en a, visión frontal*) y por zonas más difusas, más bien simétricas, situadas en la parte posterior del cerebro (*visión de esta parte en b*). El cerebro se mantiene activo incluso en ausencia de toda estimulación exterior o de una tarea efectuada conscientemente.



B. MAZOYER

# Memoria y aprendizaje en las ratas

Se ha conseguido potenciar la capacidad de memoria en individuos normales y recuperarla en los que padecen daño cerebral

Ignacio Morgado Bernal

En sus quinientos millones de años de historia evolutiva, el cerebro ha venido desarrollando el conjunto de capacidades cognitivas que integran la mente y controlan el comportamiento de los humanos. Entre las capacidades mentales hay una básica y esencial, la memoria, un proceso intrínsecamente ligado al procesamiento cerebral de la información, que alcanza su cenit con el desarrollo de la neocorteza de los mamíferos. En esencia, la memoria es el almacén cerebral de nuestra experiencia personal, el registro fisiológico de aquello que aprendemos. Aprendizaje y memoria son dos procesos estrechamente ligados, como las dos caras de una misma moneda.

La expresión de la memoria, es decir, de lo aprendido, son los recuerdos y éstos, como la memoria misma, pueden ser implícitos y explícitos. La memoria implícita son los recuerdos básicamente inconscientes en que se basan nuestros hábitos mentales y motores. Es el modo en que percibimos una cara o una situa-

ción familiar, multiplicamos mentalmente, nos vestimos, caminamos o montamos en bicicleta. Es decir, es el tipo de memoria sobre cómo se hacen las cosas que solemos hacer.

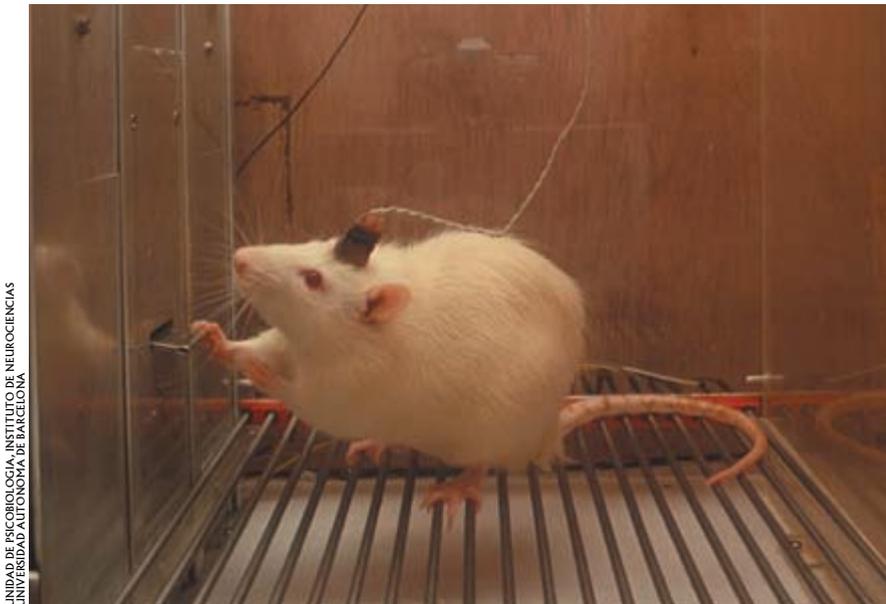
En cambio, la memoria explícita son los recuerdos deliberados y conscientes sobre nuestro conocimiento del mundo o nuestras experiencias personales de toda índole. Es aquella que nos permite almacenar información sobre gentes, lugares, cosas y episodios o circunstancias simples y complejas. Es saber quién fue Ramón y Cajal, cómo suele reaccionar el jefe, dónde está el monasterio de Yuste o cómo fue la jugada de gol. Es el mismo tipo de memoria que nos permite relacionar mentalmente toda clase de información para reconocer, deducir, inferir o crear flexiblemente nuevo conocimiento.

Pero la memoria, sea del tipo que sea, no suele establecerse de un modo instantáneo cuando aprendemos. La formación de memorias duraderas es un proceso lento y gradual que requiere cambios moleculares y estructurales en las neuronas, en los circuitos cerebrales implicados. Sólo cuando nos enfrenta-

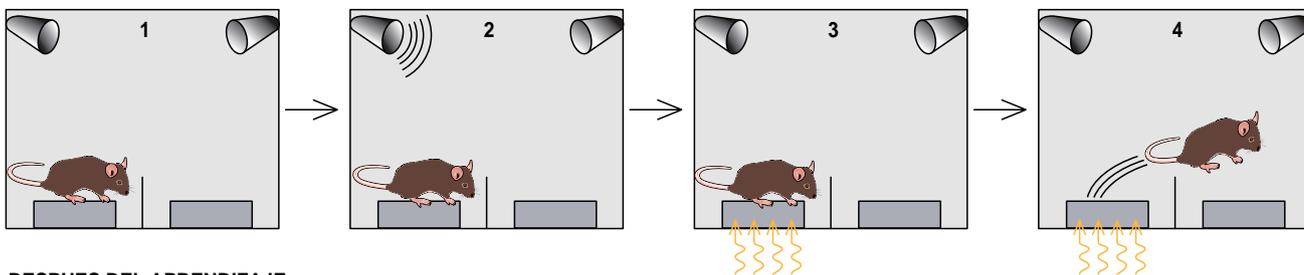
mos a situaciones de alto contenido emocional, como cuando repentinamente nos comunican la increíble noticia del desplome de las torres gemelas de Nueva York, esos cambios se producen con rapidez, formando casi instantáneamente una memoria indeleble. En los demás casos, el proceso de formación o consolidación de la memoria se inicia también con el propio aprendizaje, pero continúa en el cerebro tras el mismo durante horas, días e incluso más tiempo, y es, como bien sabemos, generosamente favorecido por su repetición. Es decir, la repetición de la experiencia activa y refuerza el proceso de consolidación de las memorias en el cerebro. En realidad ése es el modo más común y antiguo de tratar de establecer una memoria, repetir una y otra vez aquello que queremos recordar. Ello es posible porque los mecanismos cerebrales de formación de la memoria son plásticos, susceptibles de modulación por eventos de distinta naturaleza. Además, hay diversos modos de incidir sobre el cerebro para activar y potenciar la formación de la memoria no sólo en sujetos normales sanos, sino también en individuos con amnesias debidas a daños o lesiones cerebrales.

En nuestro laboratorio de la Universidad Autónoma de Barcelona hemos puesto de manifiesto la posibilidad de potenciar ambos tipos de memoria, la implícita y la explícita, mediante una técnica llamada autoestimulación eléctrica intracraneal (AEIC). Básicamente consiste en que los animales como la rata presionan ellos mismos una palanca para activar un dispositivo electrónico que, a través de un pequeño electrodo crónicamente implantado en su cerebro, le hace llegar al mismo una pequeña

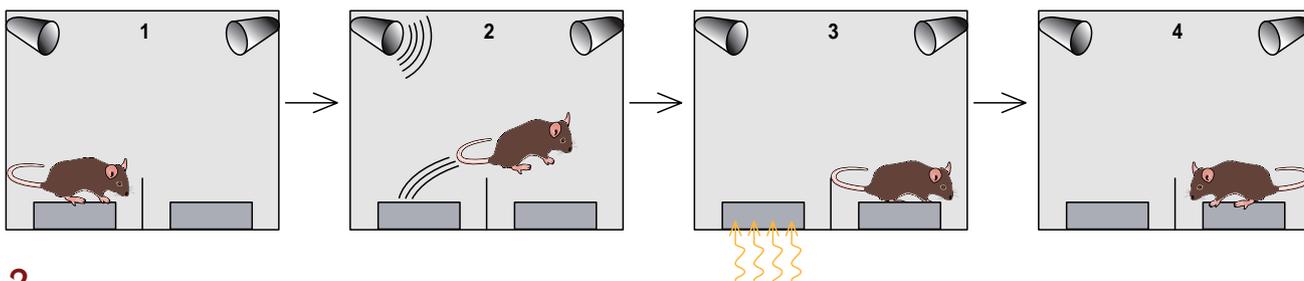
**1. AUTOESTIMULACION ELECTRICA INTRACRANEAL.** La rata presiona una palanca para activar el dispositivo que envía una breve (milisegundos) y ligera (microampère) descarga eléctrica a una región de su cerebro (haz prosencefálica medial) cuya activación produce placer.



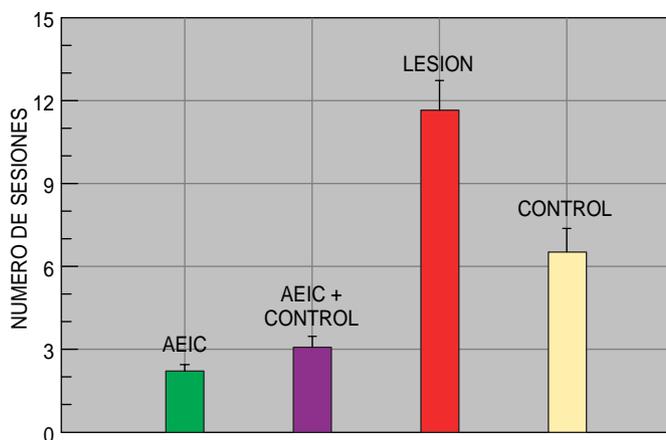
**ANTES DEL APRENDIZAJE**



**DESPUES DEL APRENDIZAJE**



**2. LA AEIC POTENCIA EL APRENDIZAJE** y permite recuperar la capacidad de memoria en ratas con lesiones cerebrales. Se indican arriba las secuencias del aprendizaje de evitación activa utilizado en los experimentos. Se expone a la derecha el número de sesiones de entrenamiento requeridas para alcanzar un alto criterio de aprendizaje (85 % de respuestas correctas) en ratas normales (control), normales con tratamiento de AEIC (AEIC), ratas con lesiones talámicas (lesión) y ratas con lesiones talámicas tratadas con AEIC (lesión + AEIC). Obsérvese que las ratas con lesiones cerebrales tratadas con AEIC (*barra de color morado*) no sólo recuperan su capacidad de aprender, sino que aprenden incluso antes que las ratas normales (sanas) que no reciben tratamiento (*barra de color amarillo*).



corriente eléctrica que estimula áreas del placer. La rata aprende enseguida a autoestimularse presionando la palanca y lo hace continuamente mientras tiene acceso a ella.

El electrodo se implanta en el haz proencefálico medial, una estructura heterogénea que contiene abundantes fibras neurales que comunican entre sí numerosas áreas del tronco del encéfalo y el diencéfalo con la corteza cerebral y los núcleos subcorticales. Como resultado de la autoestimulación se activan amplios sectores cerebrales, incluyendo los sistemas neuroquímicos implicados en la formación y modulación de la memoria.

Aplicando esta técnica tras las sesiones de aprendizaje hemos conseguido mejorar la memoria de los animales, sobre todo la de aquellos con más dificultades para aprender. Así lo pusimos de manifiesto en un experimento con aprendizaje de evitación activa, consistente en que las ratas cada vez que oyen un tono tienen que cambiar de compartimento para evitar una ligera descarga

eléctrica en sus patas. Este tipo de aprendizaje resulta especialmente complicado para ellas y da lugar a situaciones semejantes a las que observamos en el aprendizaje en humanos. Es decir, hay ratas que aprenden mucho y en pocas sesiones y ratas que tardan más en hacerlo. Hay incluso algunas que no lo consiguen nunca.

Pues bien, un tratamiento de una media hora de AEIC tras cada sesión de aprendizaje hace que los animales que inicialmente aprenden menos se superen a sí mismos e igualen en memoria a los que inicialmente aprenden más. Uno de los efectos del tratamiento de AEIC consiste en acelerar la formación de la memoria activando los procesos neurofisiológicos que subyacen a su formación. Lo pudimos comprobar al constatar que las ratas autoestimuladas necesitan menos días que las no estimuladas para presentar el mejor recuerdo de lo aprendido.

En experimentos posteriores hemos puesto de manifiesto que las ratas viejas también pueden beneficiarse del

potente efecto facilitador de la memoria que tiene este tratamiento, lo que demuestra que las capacidades plásticas de los circuitos cerebrales se conservan en la senectud.

Hemos observado, asimismo, que la AEIC potencia igualmente a la memoria explícita en experimentos en los que las ratas tienen que aprender a visitar determinados brazos de un laberinto con independencia del lugar de partida, guiándose por señales externas al mismo. Es decir, algo parecido a lo que hacemos las personas para orientarnos flexiblemente en un determinado lugar gracias a carteles, anuncios o señales de cualquier tipo. Incluso las viejas memorias, cuando son reactivadas (recordadas) son susceptibles del beneficio de este tipo de tratamiento, haciéndose, si cabe, más fuertes, en un proceso que ha dado en llamarse reconsolidación de la memoria.

Pero los resultados más sorprendentes y quizá más prometedores son los que hemos obtenido al aplicar la AEIC a animales con pérdidas de la capacidad

de aprender y recordar debidas a lesiones talámicas (núcleo parafascicular), es decir, animales con déficits semejantes a los de humanos con amnesias diencefálicas. Estos animales, cuando recibieron el tratamiento de AEIC, no sólo recuperaron la capacidad de recordar aprendizajes de evitación activa como los anteriormente citados, sino que incluso superaron en memoria a las ratas normales sanas, sin lesiones cerebrales. Hasta los animales viejos, con el mismo tipo de daño y amnesias, recuperaron la

capacidad de memoria y se comportaron como animales sanos cuando fueron tratados con AEIC.

Estos y otros resultados sobre potenciación de la memoria obtenidos en nuestro laboratorio por diferentes investigadores (Pilar Segura, Laura Aldavert, Carlos Soriano y Diego Redolar) ponen de manifiesto la plasticidad y el carácter vitalicio de los mecanismos cerebrales de formación de la memoria, así como la posibilidad de influir en ellos con diferentes tratamientos para supe-

rar o paliar las deficiencias cognitivas que pueden resultar del envejecimiento, del daño cerebral o de enfermedades neurodegenerativas como las de Parkinson o Alzheimer.

---

IGNACIO MORGADO BERNAL es catedrático de psicobiología en el Instituto de Neurociencias de la Universidad Autónoma de Barcelona.

# La muerte celular en el cerebro

## Apoptosis neuronal

Montserrat Iglesias

**E**l desarrollo de los organismos metazoos está gobernado por fenómenos de proliferación y muerte celular. Ambos coexisten en un equilibrio dinámico para garantizar la consecución exitosa de un organismo adulto correctamente formado. Del mismo modo que la proliferación se rige por el ciclo celular, una serie de etapas que se suceden bajo una impecable regulación, existen mecanismos para eliminar células, sujetos también a un programa bien orquestado y establecido.

No debemos confundir la muerte celular que constituye un fenómeno fisiológico del desarrollo normal del organismo con la muerte accidental provocada por agresiones externas. Reflejan episodios de la primera la eliminación de la cola en el proceso de metamorfosis de los anfibios o, en el caso de los mamíferos, la eliminación de membranas interdigitales durante el desarrollo embrionario. El término técnico usual empleado en ese caso es el de apoptosis, voz griega que significa "caída", como la sufrida por las hojas de los árboles en otoño. Se llama muerte necrótica la causada por accidente.

Durante la apoptosis, el núcleo y el citoplasma de la célula se condensan. En todo momento se mantiene la integridad de la membrana plasmática y de

los orgánulos celulares. No así en la necrosis: la célula se hincha, los orgánulos se degradan y la membrana se rompe liberando el contenido encerrado al espacio extracelular, con la consiguiente reacción inflamatoria por parte del organismo. Esta reacción inflamatoria no se produce durante la apoptosis, ya que la célula apoptótica condensada se fragmenta en distintas porciones de citoplasma, núcleo o de ambos, envueltas en membrana plasmática. Esos fragmentos o cuerpos apoptóticos son fagocitados por macrófagos o células circundantes. Sólo la célula apoptótica sintetiza proteínas, en particular caspasas, unas enzimas decisivas para que el proceso de muerte pueda llevarse a cabo. Con toda razón se iguala el proceso apoptótico al de un suicidio celular, pues la misma célula participa de forma activa en su propia muerte.

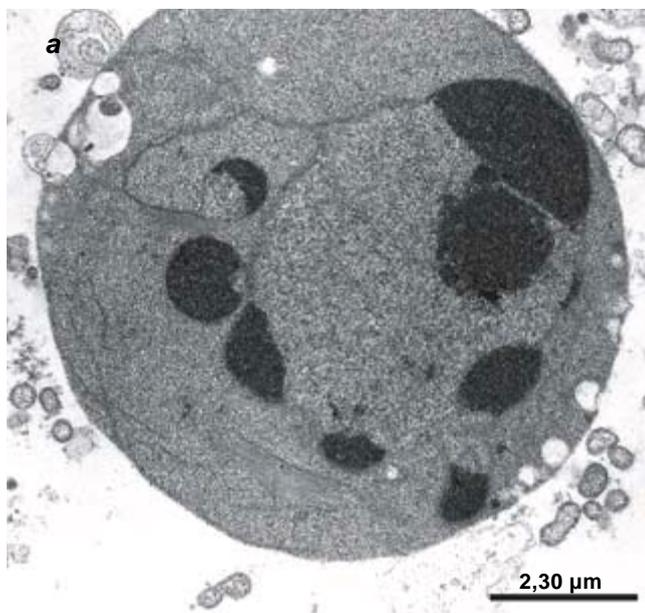
En el sistema nervioso se observa que un gran número de células generadas en fases tempranas del desarrollo mueren por apoptosis en un intervalo temporal que coincide con el establecimiento de las conexiones sinápticas. Esta muerte neuronal fisiológica se descubrió en determinadas poblaciones de neuronas de embriones de pollo durante los días 5 y 6 del desarrollo; afectaba aproximadamente al 50 % de la población neuronal. Más tarde se comprobó que se trata de un fenómeno muy extendido en

las poblaciones neuronales centrales y periféricas, cuya magnitud varía entre el 20 % y el 80 % del total de células generadas inicialmente. Aunque la apoptosis neuronal se da, de forma característica, en el curso del desarrollo embrionario, puede prolongarse hasta las primeras etapas de la vida posnatal.

¿Por qué se forman neuronas que pronto han de desaparecer? La razón de esa poda se busca en la adaptación: se trataría de ajustar el número de neuronas al tamaño de su tejido de inervación (tejido diana) y eliminar, además, proyecciones erróneas o aberrantes.

Respaldan esta hipótesis experimentos que demuestran que la magnitud de la muerte neuronal programada puede modificarse a través del incremento o de la disminución del tamaño del tejido potencialmente inervable: la apoptosis neuronal es proporcional a la cantidad de tejido diana. Los casos extremos corresponden a la extinción de la población neuronal inervante entera en el caso de la ausencia total de tejido de inervación y a la supervivencia general en caso de un aumento considerable de dicho tejido.

¿Qué relación existe entre el tejido diana y la población de neuronas que lo va a inervar? De acuerdo con la hipótesis neurotrófica, el tejido diana libera unas proteínas esenciales para la supervivencia de las neuronas inervantes. Estos



XAVIER CALOMARDE

**IMAGENES AL MICROSCOPIO ELECTRONICO** de células de la línea de neuroblastoma SH-SY5Y: célula normal (a) y célula en proceso de muerte apoptótica (b); en la segunda se aprecia la condensación del citoplasma y del núcleo.

factores neurotróficos, de eso se trata, se segregan “en cuantagotas”, por lo que las neuronas inervantes del tejido diana potenciales deben competir entre sí por su adquisición. Sólo sobrevivirán las neuronas que consigan hacerse con cantidades suficientes de factor neurotrófico; el resto muere.

En 1968 Rita Levi-Montalcini confirmaba esta hipótesis neurotrófica con el aislamiento de la primera molécula dotada de actividad neurotrófica, el factor de crecimiento nervioso (NGF, por “Nerve Growth Factor”). De entonces acá han venido identificándose otros factores neurotróficos. Se les agrupa ahora en dos familias principales: la de las neurotrofinas, entre las que se encuentra el NGF, y la familia de los ligandos del factor neurotrófico derivado de glía (GDNF). Pese a que la teoría neurotrófica explica el fenómeno de muerte neuronal fisiológica, hay que tener en cuenta que el proceso de regulación de esta muerte reviste mayor complejidad; en él participan también las células aferentes o las gliales e interviene la actividad eléctrica de las neuronas, vinculada con los niveles de calcio intracelular.

Además de su papel fisiológico, la muerte apoptótica de neuronas participa en otros procesos. Por ejemplo, en los

neurodegenerativos observados en organismos adultos, que se asocian con diversas patologías: Alzheimer, Parkinson, Huntington, esclerosis lateral amiotrófica y otras. En estas enfermedades, las neuronas sufren un proceso de degeneración que culmina, en la mayoría de los casos, en una muerte con características apoptóticas.

Queda mucho por avanzar en el conocimiento de los mecanismos desencadenantes del programa apoptótico de las neuronas adultas en condiciones patológicas. Sabemos que se caracterizan por la ausencia de factores tróficos, la presencia de proteínas o agregados de proteínas anormales que actúan como agentes tóxicos para las neuronas y la aparición de determinadas condiciones de isquemia. Se sospecha también que la activación de la microglía y su liberación de factores tóxicos para las neuronas podrían, a su vez, desencadenar la apoptosis neuronal en las enfermedades neurodegenerativas.

Teniendo en cuenta que todavía no se conocen métodos terapéuticos eficaces contra las enfermedades neurodegenerativas, la aplicación de factores neurotróficos aparece como una opción prometedora.

El uso de modelos experimentales de lesión neuronal ha puesto de relieve la capacidad preventiva de los factores tróficos ante el daño neuronal causado por diversos tipos de estímulos. En particular, el factor de crecimiento nervioso previene el daño inducido por ausencia de glucosa, condiciones de isquemia, axotomía (ausencia de tejido diana), radicales libres, hierro y otros. Por su parte,

el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), otro miembro de la familia de las neurotrofinas, puede prevenir el daño causado por agentes tóxicos o por la axotomía. A su vez, él mitiga, al menos temporalmente, los efectos causados por el agente tóxico MPTP (que se utiliza para emular la enfermedad de Parkinson) en neuronas dopaminérgicas de mono.

Los resultados obtenidos demuestran que los factores tróficos ejercen una acción protectora importante en la degeneración neuronal del sistema nervioso central y del periférico. Si a ello se añade otra observación reciente, según la cual hay factores tróficos que activan vías de señalización intracelular inhibitoras del proceso apoptótico, nos daremos perfecta cuenta de las posibilidades que encierran en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas.

Habrá que solucionar antes problemas difíciles; por ejemplo el que plantea la rápida metabolización de los factores tróficos por peptidasas cuando se administran de forma exógena. Además, son macromoléculas que no atraviesan la barrera hematoencefálica, lo que representa un grave inconveniente para su inclusión en los tratamientos del sistema nervioso central. Para obviarlo, la investigación se centra en moléculas pequeñas que estimulen la síntesis celular de factores tróficos.

---

MONTSERRAT IGLESIAS.  
Universidad de Lérida

## ENTREVISTA

# ¿Robots con autoconocimiento?

Thomas Christaller es profesor del Instituto Fraunhofer para Sistemas Inteligentes Autónomos (AiS) en Sankt Augustin, Bonn. *Mente y cerebro* ha deshilvanado con él las relaciones entre conciencia y robot

Carsten Könneker

**MYC:** Doctor Christaller, ¿existe una conciencia artificial?

**CHRISTALLER:** No, estamos todavía muy lejos de ello. Además, el concepto de “conciencia artificial” no tiene ninguna relevancia en el debate científico. Si acaso, hablamos, con un sinónimo, de inteligencia artificial; el concepto, no obstante, es nebuloso. Los manuales de IA ni siquiera suelen atreverse a aclarar el concepto de “inteligencia”.

**MYC:** Sin embargo se está investigando en ella.

**CHRISTALLER:** Sin duda. Pero, en los últimos cincuenta años, si algo hemos aprendido es por dónde no van las cosas.

**MYC:** ¿Cuál es el problema?

**CHRISTALLER:** Todavía nos faltan los modelos correctos. Hasta que los neurobiólogos no sepan cómo funciona el cerebro humano, los técnicos e ingenieros no podrán empezar a construir máquinas que ofrezcan rendimientos comparables.

**MYC:** ¿Debería una máquina al menos poder “hablar”, para que le pudiéramos certificar “conciencia”?

**CHRISTALLER:** Esta es exactamente la clase de discusión en la que yo mismo

he caído durante decenios. En los libros de IA suele afirmarse que la inteligencia humana consiste en lenguaje, solución de problemas, planificar, etc. Pero este modo de ver se queda corto. Lo que nos hace más inteligentes que los monos es, ante todo, la capacidad de predecir el comportamiento de los demás.

**MYC:** Capacidad de anticipación.

**CHRISTALLER:** Exacto. Yo lo denomino acción de ensayo. Es la clave del aprendizaje por imitación, de la transmisión cultural de patrones de comportamiento y también del lenguaje. El truco es el siguiente: cuando oímos hablar, ello excita —en silencio— nuestra musculatura del habla; repetimos inaudiblemente lo que estamos oyendo.

**MYC:** ¿Puede explicarlo con mayor precisión?

**CHRISTALLER:** La tormenta neuronal en mi cabeza se empaqueta en forma de lenguaje y luego produce una tormenta neuronal comparable en usted. Y usted repite justamente lo que oye. Eso es entender.

**MYC:** ¿En qué podrían ser útiles alguna vez los robots interactivos con inteligencia artificial o conciencia artificial?

**CHRISTALLER:** Por ejemplo, en la exploración de lugares a los que nosotros no podemos llegar, porque nuestro cuerpo

no está capacitado. ¡Piense en la profundidad de los mares o en planetas lejanos! Ahí sería muy ventajoso disponer de robots que pudieran darse cuenta y decidir por ellos mismos lo que hay que hacer. Si en tal caso serían “inteligentes” y obrarían “conscientemente” en nuestro sentido, no lo sé. Puede que con menos baste. De cualquier forma tiene sentido investigar en esa dirección.

**MYC:** ¿Hay también aplicaciones más cotidianas?

**CHRISTALLER:** Naturalmente. La atención a los ancianos en su domicilio, por ejemplo, o en general, como asistentes del hogar. Pero tampoco éstos necesitarían tener inteligencia y conciencia en las mismas proporciones que nosotros.

**MYC:** Los robots domésticos tienen un papel importante en ciertas visiones del futuro de la técnica. ¿Qué piensa usted de las predicciones del pionero de los ordenadores Ray Kurzweil? ¿Le harán la competencia al hombre dentro de poco tiempo las inteligencias virtuales?

**CHRISTALLER:** Ray Kurzweil se pone a sí mismo y a sus ideas en escena maravillosamente bien. Pero a nivel científico, compara peras con manzanas: siempre está argumentando según el incremento de la potencia de las computadoras, que naturalmente es mensurable y sin duda



aumentará todavía en el futuro. Pero, ¿cuál es la medida física de la potencia de nuestro cerebro? ¿No lo sabemos!

**MYC:** ¿Hemos de temer un mal uso de la inteligencia artificial?

**CHRISTALLER:** Es regla universal que no podemos predecir, en ningún adelanto técnico, qué le va a costar finalmente a la sociedad. En 1900 se saludó en Viena la aparición del automóvil por motivos ambientales: desaparecieron las bostas de caballo y la ciudad se hizo más limpia.

**MYC:** Así pues, no hay esperanza sin temores. Pero, ¿cómo se pueden minimizar los riesgos de la investigación en IA?

**CHRISTALLER:** Sólo veo un camino. Hay que entenderse con todos los críticos y facciones y dejar que de la discusión salga lo que salga. Y desde luego puede ser que la sociedad llegue a la conclusión de que hay que suspender la investigación en IA.

**MYC:** ¿Cuál es la situación actual de la discusión?

**CHRISTALLER:** Lo que ocurre actualmente en Alemania y en Europa es que las subvenciones de investigación y recursos se dedican muy reticentemente al desarrollo de la IA. Por el contrario, en Japón se investiga masivamente. Allí tienen programas nacionales ambiciosos para la promoción del desarrollo de robots humanoides, para mencionar sólo un ejemplo.

**MYC:** ¿Está usted mirando hacia el Lejano Oriente con envidia?

**CHRISTALLER:** Puede que los japoneses estén practicando la mejor estrategia, pues, independientemente de la IA, los robots son cada vez más importantes; sean móviles o estáticos, como por ejemplo en las plantas de control de procesos. En otras palabras: el futuro es en cualquier caso uno de los bucles retroactivos sensomotores de complejidad creciente, y las economías nacionales y

las empresas privadas que golpeen primero —en forma de patentes— tendrán una ventaja económica enorme. Entre nosotros todavía domina la ola Multimedia-Internet. Pero es muy visible que éste es un mercado limitado. Ni siquiera técnicamente tiene las perspectivas de la robótica.

**MYC:** ¿A qué se refiere?

**CHRISTALLER:** Los incrementos de potencia anuales de los chips de ordenador son del orden de un cincuenta por ciento. En los sistemas integrados, a los que pertenecen los robots, los llamados microcontroladores, en cambio, son del orden de mil por ciento y más. Y la ventaja que llevan los chips a los microcontroladores en cuanto a potencia se está reduciendo: lo que hoy encuentra usted en un coche de categoría mediana, hace sólo diez años que era un superordenador. Si ahora lo programa usted y lo dota con funciones sensomotoras, se abren unas dimensiones enteramente nuevas.

**MYC:** El filósofo Thomas Metzinger exige que se prescinda de desarrollar inteligencias artificiales con vivencia consciente, porque los primeros prototipos experimentarían necesariamente su imperfección de forma dolorosa. ¿Qué piensa usted de esta idea?

**CHRISTALLER:** No sé si el señor Metzinger tiene una noción de lo lejos que nos hallamos de ello.

**MYC:** ¿Pero si se trata de una cuestión de principio!

**CHRISTALLER:** Bien. Entonces mi respuesta es: el señor Metzinger ha respondido en principio correctamente a esa cuestión de principio.

**MYC:** ¿Quiere usted decir que, incluso aunque fuera realizable una conciencia artificial, de momento estamos tan lejos de ello, que el problema no nos afecta en el trabajo y la investigación concretas?

**CHRISTALLER:** Exactamente.

**MYC:** Una palabra todavía sobre el tema de Internet. ¿Se va a desarrollar quizás una especie de conciencia global, cuando en el futuro sean soltados sobre el saber enciclopédico casi ilimitado de la web sistemas de agentes cada vez más potentes, capaces de entender los significados de las palabras y de las frases?

**CHRISTALLER:** No. Esos sistemas no reconocen los significados. No son capaces de conciencia y solamente generan modelos estadísticos. Nada más.

# Neurología de la percepción musical

¿Qué ocurre en nuestro cerebro cuando escuchamos los acordes de Johannes Brahms, Miles Davis o Elvis Presley?

La investigación reciente pone de manifiesto que las personas perciben y procesan la música de formas muy distintas

Eckart Altenmüller

**T**ras una intensa jornada laboral, me dejo seducir por mi pieza favorita, el segundo concierto de piano de Johannes Brahms. Al solo de viento de los dos primeros compases siguen los acordes de piano que ascienden con suavidad. Se me agolpan los recuerdos. Rincones de los bosques de Rottweil, estrofas de Eichendorff, la tarde estival en que, con dieciséis años, descubrí el concierto... El final de este tiempo, cuando el pianista va aumentando el volumen y la velocidad hasta la extenuación de sus fuerzas, me deja sin aliento. Siento el éxtasis embriagado del solista, que vuela por la partitura. Estremecedor.

Es imposible transmitir con palabras este tipo de vivencias musicales, tan intensas y subjetivas. En su novela *En busca del tiempo perdido*, Marcel Proust (1871-1922) describe la música como un medio de comunicación prehistórico

que servía para estrechar vínculos sociales. Lo mismo que el lenguaje, la música forma también parte esencial de la cultura humana. Hace más de 35.000 años los hombres fabricaron los primeros instrumentos musicales: de percusión, flautas de hueso y birimboas. Pero, ¿por qué empezaron a hacer música? ¿Qué provecho obtenían?

El lenguaje sirve para transmitir información de manera eficaz y exacta. Se debate, sin embargo, la ventaja evolutiva de la música. Jaak Panksepp, investigador en el dominio de las emociones, cifra el origen de la música en las expresiones de despedida de los primeros homínidos. En el mundo animal encontramos parejos recursos sonoros para establecer contacto entre madre e hijo o entre los miembros de un grupo. Las reacciones vegetativas que se sienten al oír música —el estremecimiento que recorre el cuerpo al escuchar un fragmento melódico especialmente emotivo— resultaron, según Panksepp, muy

útiles desde el punto de vista biológico: si la cría oye la voz de la madre, se le erizan los pelos y le aportan calor. Todos hemos experimentado estremecimientos agradables causados por la música. Durante ese fenómeno se activa el sistema límbico de autorrecompensa, que suele asimilarse al placer sexual.

Probablemente, hubiera bastado ese carácter autorrecompensante para que el hombre creara música hace miles de años. Pero ésta comporta, además, otra ventaja práctica y evolutiva: ayuda a organizar la vida en grupo y a estrechar los lazos frente a posibles agresores. Cabe incluso que los primeros representantes de la especie humana se comunicaran a través de la música antes de la aparición del lenguaje. Si bien parece más plausible que ambos sistemas se desarrollaran a la vez, para separarse andando el tiempo. Los antropólogos consideran central su función fomentadora del sentido de colectividad, que vemos reflejado en los cantos asociados a determinadas tareas



AKG BERLIN

(canciones de tejedores, canciones de la cosecha) o los cantos de guerra (marchas). En fecha reciente los grupos juveniles tienden a identificarse con expresiones musicales características.

### **Prestissimo nervoso: ¿cómo llega la música al cerebro?**

¿Cuáles son las cualidades generales necesarias para escuchar música? Tras la recepción de los sonidos en el oído, el nervio auditivo transmite la información al tronco encefálico. Allí pasa por un mínimo de cuatro estaciones de conmutación que filtran las señales, reconocen patrones y calculan las diferencias temporales del sonido de ambos oídos. Esto último nos permite determinar de qué dirección provienen los sonidos.

El tálamo transmite informaciones hacia la corteza o las reprime. Este efecto de compuerta posibilita, entre otras cosas,

un control selectivo de la atención; así, por ejemplo, podemos distinguir un determinado instrumento en medio del sonido global de la orquesta. Desde el tálamo las señales van hacia el córtex auditivo del lóbulo temporal. Aproximadamente el noventa por ciento de las informaciones de un oído acaban en el otro lado del tronco encefálico y del cerebro. En experimentos con animales se ha comprobado que, al reseca un nervio auditivo, se refuerzan las conexiones con el otro oído intacto del mismo hemisferio.

A lo largo de esta "vía auditiva ascendente", del oído interno al córtex auditivo, se suceden análisis cada vez más depurados de la información. Ahora bien, la información sufre además un proceso paralelo de asimilación. En este ámbito, la primera zona de conmutación, o núcleo coclear, realiza distintas funciones. En la parte anterior, la mayoría de las neuro-

**1. LA MUSICA** ha provocado emoción y entusiasmo en todas las épocas de la humanidad. Traemos aquí un ejemplo gráfico de lo ocurrido al final de un concierto celebrado en 1864 en el Teatro Principal de Karlsruhe.

nas reaccionan sólo ante algunos tonos y transmiten las señales recibidas sin apenas alterarlas. La parte posterior, sin embargo, asimila patrones musicales: principio y fin de un estímulo o una alteración de la frecuencia. Por lo tanto, zonas distintas del cerebro procesan aspectos de la misma información diferentes. La estación postrera de la vía auditiva es el córtex auditivo primario sobre la circunvolución superior del lóbulo temporal, la circunvolución de Heschl. En esa zona muchas neuronas no reaccionan sólo ante sonidos de senos puros, sino también ante polifonías o timbres.

## Introducción musical: lo que oímos cuando oímos

Una fiesta de cumpleaños. Con las copas de champán en las manos, el corro animado canta la pieza musical más famosa de todos los tiempos: "Cumpleaños feliz" o, en inglés, "Happy Birthday to you". Desde el punto de vista de las ciencias del comportamiento cumple una función clara: la afirmación de unos lazos sociales. Pero, ¿qué percibimos exactamente cuando escuchamos la canción?

La música, organizada en varias capas, constituye un estímulo auditivo complejo. Al escuchar música transcurren simultáneamente muchos procesos de percepción distintos. Los elementos básicos de un tono son la altura, la duración, el volumen y el timbre. La producción consecutiva de varios tonos origina patrones acústicos que se relacionan con un contexto temporal en la memoria auditiva a corto plazo, para almacenarse luego en la memoria a largo plazo. La memoria musical a largo plazo es una suerte de "biblioteca" configurada en nuestro cerebro. Quien escucha una pieza, la compara con patrones disponibles y busca su significado.

Para describir la estructura de patrones musicales recurrimos a los siguientes elementos:

- la estructura melódica,
- la estructura temporal,
- la estructura armónica vertical y
- la estructura dinámica.

Ilustraré el significado de los distintos factores con un experimento mental. Dejemos sonar para ello "Happy Birthday" en nuestro interior:

Podemos escuchar entera esa melodía sencilla de ocho compases, percibirla de modo global. Pero podemos también dividirla en sus componentes. El modo de percepción local o analítico puede realizarse de forma extrema, es decir, experimentando la música "puntual", en tonos aislados. En un paso siguiente, unimos tonos sueltos. Dos tonos consecutivos forman un intervalo. Así, quien empieza por atender a la sucesión de los dos primeros tonos conformando una unidad, luego la sucesión de los tonos dos y tres, después los tonos tres y cuatro y así sucesivamente, realiza una escucha centrada en los intervalos. Pero podemos agrupar unidades de percepción temporal algo mayores y observar, por ejemplo, los contornos de las melodías. La melodía primero asciende algo, luego desciende, después asciende en saltos cada vez

mayores hasta el tercer "Happy Birthday". Alcanzada esta cúspide, la melodía vuelve a descender.

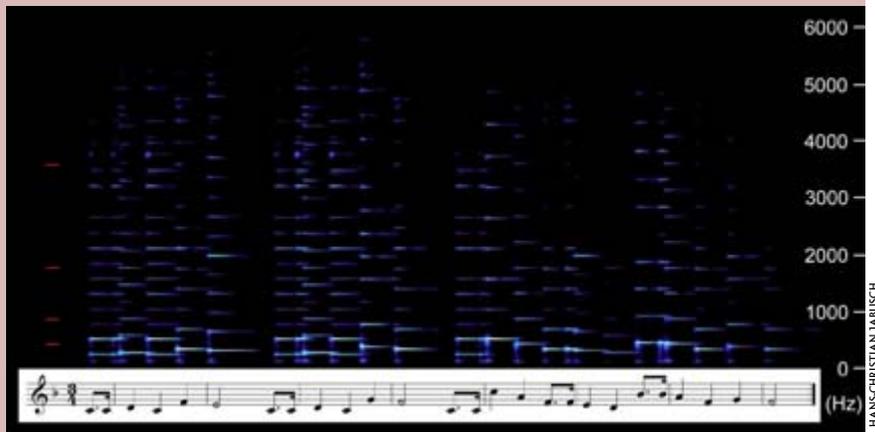
Esta escucha, polarizada en el contorno, guarda una vinculación más estrecha con la percepción global. En el caso de que se agrupen unidades mayores, conviene subdividir la pieza en un "tiempo anterior" y otro "posterior" de un período musical. Tal proceder obedece a reglas de simetría y leyes de armonía; crea la sensación de tensión y relajación. En nuestro ejemplo, el tiempo anterior termina poco antes del último salto ascendente cargado de tensión, que inicia el tiempo posterior tranquilizador. Estos modos de escucha difieren en la duración de los segmentos temporales contemplados y procesados en cada caso.

Pero la música no consta sólo de melodías. Comprende también estructuras temporales: ritmos y metros, ante todo. Un ritmo resulta de la sucesión temporal de al menos tres sucesos. Nuestra canción comienza con un ritmo enérgico, de puntillo. Esto le otorga a "Happy Birthday" un carácter festivo desde el principio, subrayado luego por los cuartos que progresan homogéneamente. El metro es el latido regular que subyace bajo una sucesión de tonos; aquí, el compás de tres por cuatro. Eso significa que "Happy Birthday" no es una marcha tosca, sino pieza dotada de carácter ligero, peculiar del minueto o incluso de un vals. Para que podamos

percibir el ritmo y el metro, hemos de retener en la memoria los sucesos acústicos que guardan relación temporal y reconocer su orden.

Hay en "Happy Birthday" bastante más que melodía, contornos, ritmos o metros. Amén de disposición horizontal, la música posee una estructura vertical: los timbres y armonías de los tonos aislados y compuestos. El cerebro tiene que percibirlos en unos pocos milisegundos. Los timbres de las voces que están cantando se deben, por ejemplo, a ruidos y procesos de oscilación durante la formación del sonido, o a la combinación de los tonos superiores. Si escuchamos la canción a varias voces o con acompañamiento, percibimos la armonía al reconocer una relación numérica, la del número de oscilaciones por unidad de tiempo. Las relaciones sencillas de oscilaciones suelen ser más agradables al oído que las complejas. Estas sensaciones son subjetivas, difieren de una cultura a otra y cambian en el curso del tiempo.

Escuchamos, por último, la estructura dinámica de "Happy Birthday". La dinámica vertical marca las relaciones entre los volúmenes dentro de un sonido. Reparte las distintas voces, resaltándolas en un primer plano o dejándolas en el trasfondo del espacio sonoro. La dinámica horizontal describe, en cambio, el transcurso de volúmenes dentro de un grupo de sonidos consecutivos. Provoca la segunda sentimientos de agrado.



MELODÍA DE "HAPPY BIRTHDAY". Las señales horizontales del espectrograma reflejan (de izquierda a derecha) los espectros de frecuencias de los tonos. La dinámica se indica mediante colores: los tonos tocados a un volumen más alto tienen colores más claros. Las distancias de las octavas están marcadas en rojo al margen izquierdo (el inferior es el diapasón  $a = 440$  Hz).

## Allegro con localisatione: ¿en qué zona cerebral percibimos la música?

A este nivel los dos hemisferios cerebrales difieren. El córtex auditivo primario del hemisferio izquierdo procesa sobre todo informaciones que se suceden con rapidez. El derecho, en cambio, elabora aspectos de la frecuencia del sonido y timbres. Aunque la destrucción de la circunvolución de Heschl en ambos lados no comporta una sordera absoluta, sí se pierde con ello en buena medida la capacidad de distinguir sonidos temporalmente. El paciente ni entiende el lenguaje ni percibe la música.

Las áreas de audición secundarias están ubicadas en un semicírculo alrededor del córtex auditivo primario. Procesan patrones más complejos. Por delante, detrás y a los lados se encuentran las zonas de asociación auditiva. De ellas forma parte el área de Wernicke del hemisferio cerebral izquierdo, que cumple una función determinante en la percepción del lenguaje.

Se halla muy extendida la idea de que el lenguaje se procesaría en el hemisferio cerebral izquierdo y la música, en el derecho. Hace todavía veinte años, semejante interpretación reduccionista se recogía incluso en los manuales de medicina, pese a no contar con respaldo científico alguno.

La pesquisa del “centro de la música” —área del cerebro donde se procesara— comenzó en el siglo XIX. Los médicos no podían entonces hacer otra cosa que observar el comportamiento de los pacientes que habían sufrido lesiones cerebrales. Tras identificar las facultades resentidas —por ejemplo, la incapacidad de reconocer una canción— determinaban la asociación entre lesión y facultad. Por este método, sin embargo, sólo podían reconocer una premisa para una capacidad concreta. No se alcanzaba a saber si intervenían otras regiones. Además, los pacientes presentan distintos comportamientos durante los primeros días e incluso semanas tras la lesión, puesto que el cerebro se reestructura y se adapta a las nuevas condiciones. Pese a todas las limitaciones, los neurólogos del siglo XIX determinaron con bastante precisión la ubicación cerebral del procesamiento del lenguaje. Reconocieron que en los diestros es el hemisferio cerebral izquierdo el que procesa el lenguaje. Mas, debido a resultados contradictorios, no pudo establecerse cómo y dónde se asimilaba la música.

En efecto, las capacidades musicales podían verse mermadas por una lesión del hemisferio cerebral izquierdo o por



ECKART ALTENMÜLLER

otra acaecida en el derecho. Tales carencias no sólo aparecen cuando están afectadas áreas auditivas de los lóbulos temporales, sino también cuando se interesan el lóbulo frontal y las regiones parietales. Se descubrió, además, que ciertos aspectos parciales de la música (el timbre o el ritmo) no podían asignarse de una manera taxativa a un hemisferio en particular. Por si ello fuera poco, determinadas deficiencias resultan sumamente específicas: se es incapaz de procesar la estructura temporal o de asimilar la estructura melódica. De donde se desprende que las regiones cerebrales implicadas difieren en un caso y otro.

Las diferencias individuales que se aprecian en la coordinación entre características musicales y regiones cerebrales son mucho mayores que las deficiencias observadas en el procesamiento del lenguaje. Se comprobó esa discrepancia merced a diversas técnicas de análisis que resultaron de tests no estandarizados. Por su parte, en 1990 Isabell Peretz, de la Universidad de Montreal, puso de relieve la existencia de diferencias entre el escuchar “analítico” y el “global”. A los pacientes con una lesión del hemisferio cerebral izquierdo les costaba distinguir melodías en las que se habían cambiado algunos intervalos (escucha analítica), mientras que a los dañados en la parte derecha les resultaba muy difícil diferenciar distintos contornos melódicos (escucha global). Peretz supone que el hemisferio cerebral derecho procesa la música de forma global y el izquierdo, de modo analítico.

Se trata de una hipótesis que no hemos podido corroborar. En pacientes que

**2. UN “GORRO DE BAÑO” con 32 electrodos permite realizar el EEG.** Para reducir al mínimo la resistencia de paso entre la piel y el electrodo se introduce un gel especial en el espacio intermedio.

sufrieron un ataque de apoplejía en el hemisferio cerebral derecho o en el izquierdo, mi colega Maria Schupper y yo descubrimos un patrón de incapacidades muy heterogéneo. Por los síntomas veíase que la percepción de la música respondía a una organización jerárquica: la asimilación de intervalos y ritmos (escucha analítica) en el hemisferio cerebral izquierdo parece presuponer que el derecho reconoce la melodía y contorno melódico (características “globales”). Si está lesionado el hemisferio cerebral izquierdo, entonces los pacientes suelen percibir incorrectamente sólo los ritmos o sucesiones de tonos. Con el hemisferio derecho interesado, no reconocen los contornos y sucesiones de tonos, o las métricas y los ritmos. Por ello suponemos que el hemisferio cerebral derecho responde, en un principio, a la estructura general de la música, tras la cual en el hemisferio cerebral izquierdo se realiza un análisis más detallado.

## Andante adaptable: aprender a escuchar

La aplicación a individuos sanos de técnicas modernas de formación de imágenes para registrar actividades cerebrales arrojó una luz tenue sobre la anatomía y neurofisiología de la percepción musical. Lo mismo que en las investigaciones en pacientes, también aquí los resul-

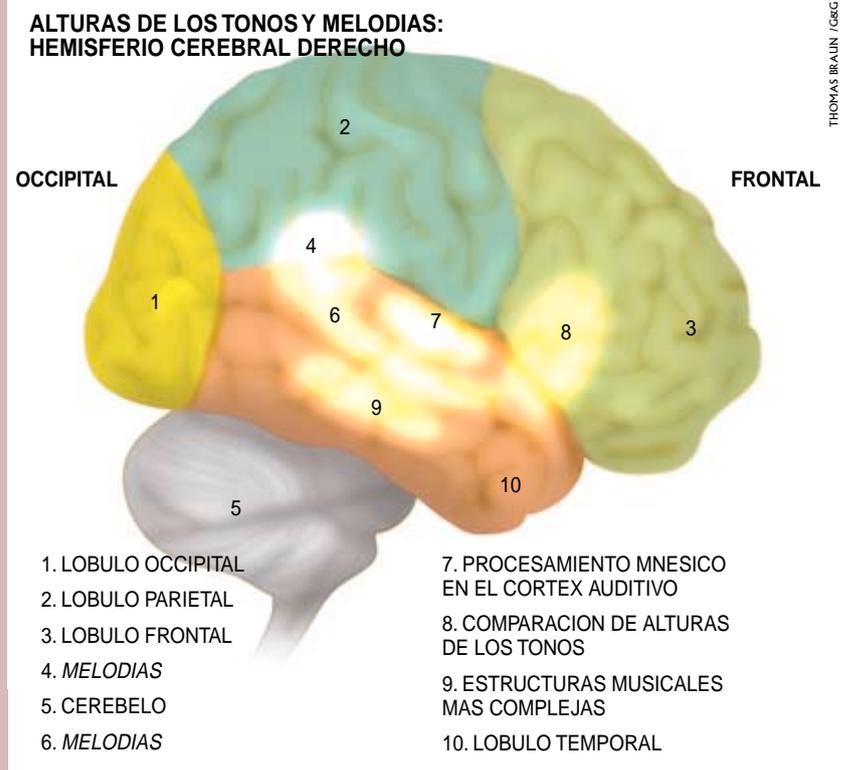
tados pecaron de confusos, cuando no contradictorios. La disparidad obedece, por un lado, a la complejidad del propio fenómeno musical; los distintos aspectos parciales (ritmos e intervalos, por ejemplo) se procesan en regiones cerebrales diferentes y, en parte, superpuestas. Por otro lado, su posición y extensión dependen, en buena medida, de las experiencias personales; varían mucho de un profano a un músico experto. A modo de regla empírica podemos establecer que las etapas tempranas de la percepción cerebral de la música (pensemos en la distinción de la altura del tono y del volumen) se desarrollan siempre en el córtex auditivo primario y secundario de ambos hemisferios cerebrales. Las etapas posteriores y el reconocimiento de patrones más complejos (así, la percepción de melodías y estructuras temporales) ocurren en regiones cerebrales distintas, al menos parcialmente, según las personas.

Se ha analizado también el oído absoluto. Por tal se entiende la capacidad que poseen algunas personas de identificar el tono que escuchan, sin apoyarse en tonos comparativos. Los músicos con oído absoluto tienen en el hemisferio cerebral izquierdo una circunvolución del lóbulo temporal posterior superior más desarrollada. Según parece, lo mismo para el oído absoluto que para el engrandecimiento de esta región cerebral resulta determinante que el entrenamiento musical empiece antes de los siete años de edad.

La plasticidad de la percepción musical se advierte a las pocas horas de entrenamiento. El equipo encabezado por Christo Pantev, de la Universidad de Münster, acometieron un ensayo que consistía en exponer a un grupo heterogéneo ante una pieza musical de la que se habían eliminado determinadas gamas de frecuencias. Descubrieron una menor actividad selectiva en el córtex auditivo primario y secundario, en dicha banda de frecuencias, a las tres horas de entrenamiento. Por el contrario, el entrenamiento intensivo durante años lleva a una mayor actividad de las regiones cerebrales correspondientes. Estas regiones se modifican específicamente sólo para instrumentos y necesidades musicales concretos. En los trompetistas profesionales, por ejemplo, las reacciones de la estructura cerebral “musical” se intensifican ante tonos de trompeta, no ante tonos de violín.

También el oído direccional depende en buena medida de la práctica. Los directores de orquesta deben controlar el balance sonoro de toda la orquesta y, por ende, de los músicos sentados en los late-

## ¿Qué zonas de nuestro cerebro se activan cuando



Cuando un profano compara distintas alturas de tonos, se le activan el lóbulo frontal posterior derecho y la circunvolución del lóbulo temporal superior derecho. Según parece, cumple a la región frontal distinguir las diferencias entre las alturas de los tonos, mientras que la memoria auditiva a corto plazo, que almacena tonos para compararlos, se encuentra en la región del lóbulo temporal. Las regiones intermedia e inferior de la circunvolución del lóbulo temporal intervienen ante estímulos turbadores prolongados entre dos tonos comparados. Allí procesamos las estructuras musicales complejas o que se han de almacenar por más tiempo. En los músicos profesionales, el hemisferio cerebral izquierdo desarrolla una actividad más intensa cuando distinguen las alturas de los tonos o perciben acordes. Ello significa que los profesionales, al escuchar tonos, desplazan de la derecha a la izquierda una parte del trabajo cerebral realizado.

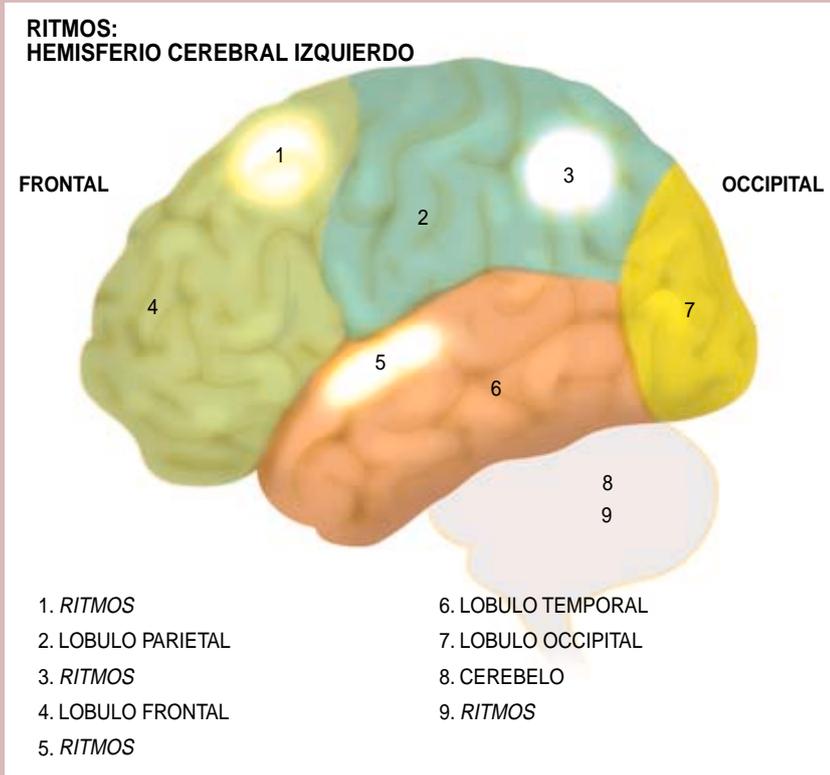
Si en vez de prestar atención a los tonos o acordes aislados, consideramos melodías enteras, entonces activamos otras partes del cerebro: además del córtex auditivo primario y secundario intervienen regiones de asociación auditiva ubicadas en la circunvolución superior del lóbulo temporal; de nuevo, sobre todo, en el hemisferio cerebral derecho.

rales. De hecho, son mejores que los pianistas a la hora de ubicar exactamente fuentes sonoras laterales. Además, al hacerlo sus neuronas auditivas desarrollan una mayor actividad.

Con la práctica, mejora también la capacidad de reconocer estructuras musicales; así, intervalos o ritmos. Por esa razón se imparte en los conservatorios la enseñanza de la “educación del oído”. En varios estudios de cortes longitudinales, nuestro instituto analizó los cam-

bios promovidos por las clases y la educación del oído en las regiones del cerebro que participan en la percepción musical. Gundhild Liebert y Wilfried Gruhn abordaron las consecuencias de un entrenamiento del oído de media hora en los alumnos. En el ensayo, 32 estudiantes diestros tenían que escuchar e identificar 140 acordes en modo mayor, modo menor, disminuidos o incrementados ofrecidos alternadamente. Los acordes sonaban durante dos segundos seguidos

## escuchamos música?



Cuando un profano procesa relaciones rítmicas sencillas —por ejemplo, la relación de las longitudes de los tonos 1:2:4 o 1:2:3— entran en acción las regiones premotrices y partes del lóbulo temporal del hemisferio cerebral izquierdo. Si las relaciones temporales son más complejas (por ejemplo 1:2,5:3,5), se activan regiones premotrices y regiones del lóbulo frontal del lado derecho. En ambos casos, interviene el cerebelo, en coherencia con su papel de “transmisor del tiempo”. En cierto ensayo con alumnos de conservatorio se observó que las regiones más activas al diferenciar ritmos o metros fueron ciertas zonas del lóbulo frontal y del lóbulo temporal del lado derecho. Es decir, cuando se trata de relaciones rítmicas, se produce una situación opuesta a la de alturas de tonos: personas no entrenadas musicalmente las procesan en el lado izquierdo, las entrenadas en el derecho.

por otros dos segundos de “escucha interna posterior”. A continuación, un grupo recibió un casete con unas clases normalizadas de educación del oído para reconocer mejor acordes disminuidos o incrementados. Mientras lo oían, el resto se dedicó a la lectura de un relato corto. Luego, todos volvieron a escuchar los mismos acordes que al principio, aunque en orden distinto. Durante las audiciones, se registraba la actividad neuronal en EEG.

### Minuetto corepresentativo: nupcias del oído con la mano

A lo largo de la primera audición de los acordes, persistían activas las regiones de los lóbulos frontal y temporal de ambos hemisferios. En los participantes sin fase de educación del oído, la activación disminuía luego con la habituación. En el otro grupo, sin embargo, la educación del oído no sólo les permitía reconocer mejor los acordes, sino también mantener una mayor actividad en las regiones cere-

brales centrales que relacionan percepciones sensoriales con representaciones de movimientos; sobre todo, durante la fase de la escucha interna posterior. ¿Cómo explicarlo? Al preguntarles a los alumnos si habían utilizado una estrategia de audición, algunos contestaron que, después del entrenamiento, imaginaron los acordes en la mente mediante manos sobre el piano. Puesto que la inmensa mayoría de los discentes acostumbraban educarse el oído en casa con el piano, tal vez las clases hayan fomentado que en el cerebro aparecieran tales representaciones: en la corteza cerebral se hallaría la información sobre la ejecución de un acorde al piano. Durante la fase de la escucha interna posterior, tales imágenes les ayudaron a identificar los tonos.

Así llegamos a un hecho crucial. El hombre no sólo percibe la música mediante la audición. Observamos la ejecución de la pieza en el concierto (percepción visual). Y en pasajes más vivos, sentimos vibraciones (activación táctil). Si nosotros ejecutamos la pieza, la percibimos como una sucesión de patrones de movimientos de las manos, es decir, de modo sensomotor; si la estudiamos, la captamos por vía simbólica. En cada una de estas modalidades podemos representar la música en el cerebro y almacenarla en el sistema de la memoria. Por lo tanto, si las representaciones sensomotrices ayudan a reconocer patrones de sonidos, entonces el cerebro tiene que traducir la música vivida en música oída. De hecho, los pianistas profesionales confiesan que, al escuchar una sonata, sienten los dedos y, a la inversa, oyen con el oído interno la pieza que ejecutan inconscientemente con los dedos sobre la mesa. Al tocar un instrumento, nuestro cerebro siempre tiene que relacionar informaciones auditivas con datos sensomotores.

Al objeto de descubrir cuánto tiempo necesita el cerebro para establecer dichas relaciones, Marc Bangert midió en oyentes profanos la actividad del cerebro ante una doble situación: ora oyendo melodías de piano sencillas y cortas, ora tocando teclas de un piano mudo. Registraba su actividad cerebral al escuchar y al mover únicamente los dedos: dos patrones de actividad completamente distintos. A continuación había una fase de ensayo, en la que los sujetos de experimentación escuchaban melodías sencillas y debían tocarlas después al piano. Esta vez podían oír lo que tocaban. Concluida esa melodía, procedía con otra algo más difícil, hasta que los intérpretes no mostraban ningún avance. Por regla general lograban tocar entre veinte

## Sentimientos y música en el cerebro

Aunque la música se caracteriza por su capacidad de suscitar emociones intensas, hasta hace pocos años no había comenzado a abordarse esa virtualidad con técnicas de formación de imágenes. En nuestro centro se ha investigado la relación entre procesamiento cerebral de una pieza y el agrado con que los jóvenes reciben la misma. Si les gusta, entonces se activan con mayor intensidad ciertas zonas del lóbulo frontal y del lóbulo temporal del hemisferio izquierdo; si no, intervienen las regiones equiparables del derecho. También participa intensamente el sistema límbico, relacionado con las emociones. La música agradable activó, además de algunas zonas del lóbulo frontal, el giro cingulado, una circunvolución ubicada en el interior del encéfalo. La música disonante que desagrada conlleva, en cambio, la actividad del giro del parahipocampo. Los arrebatos de alegría causados por la música están relacionados con el sistema límbico de autorrecompensa.

y treinta melodías. Bangert determinaba de nuevo la actividad cerebral, al oír melodías de piano y al tocar un teclado mudo, por separado. En total realizó once de estas sesiones de entrenamiento con mediciones de la actividad cerebral a lo largo de varias semanas.

### Coda: cambios en la región del tacto

¿Qué resultados obtuvo? Ya al cabo de los primeros veinte minutos de tocar el piano empezaban a cambiar ligeramente los patrones de las regiones auditivas y táctiles. Tres semanas más tarde, las modificaciones se tornaban más patentes; la región sensomotriz participaba de forma automática con la audición sin que los individuos realizaran ningún movimiento con la mano. Si tocaban a continuación en teclados mudos, aparecía entonces una interacción entre regiones auditivas adicionales del lóbulo frontal y del lóbulo temporal. Al terminar el experimento, esos pianistas principiantes presentaban

patrones de actividad parecidos a los de los profesionales; sabido es que, en los pianistas profesionales, tales patrones son prácticamente idénticos cuando oyen música y cuando la ejecutan sobre teclas mudas.

Vale la pena reseñar que, a las cinco semanas de entrenamiento con el piano, los cambios operados en la red neuronal, pasajeros en los inicios, empezaron a estabilizarse. En un individuo del ensayo comprobamos, un año más tarde, que persistían modificaciones de la actividad cerebral, a pesar de que no había vuelto a ponerse al piano desde entonces. Queda, pues, demostrado que el aprendizaje musical puede dar lugar a representaciones cerebrales adicionales; en este caso, la representación de los sonidos por movimientos de los dedos.

Nuestro sistema auditivo difiere de los demás sentidos en dos aspectos importantes. Por un lado, el oído es el órgano con menor cantidad de células sensoriales. Comparado con los más de cien millones de fotorreceptores que posee la retina humana, el oído interno sólo tiene unas 3500 células ciliadas. A partir de esta escasa información del oído, el cerebro procesa los múltiples detalles de la percepción auditiva. Mas, por otro

lado, el sentido del oído es, probablemente, el que puede educarse con mayor facilidad. Un proceso de aprendizaje que admite distintas pautas temporales, desde cuestión de segundos hasta muchos años.

¿En qué lugar exacto elabora nuestro cerebro la información musical? Si aceptamos que la música se percibe en dis-

tintas regiones del cerebro, diferentes según los individuos, habrá que concluir la imposibilidad de formular leyes generales. En sentido estricto, existirían unos seis mil millones de “centros de música” sobre la Tierra.

Ello no obstante, compartimos todos numerosos prenotandos de la percepción musical. Para descifrar las ondas sonoras el hombre necesita un aparato sensorial en el oído interno, la vía auditiva del oído al cerebro y las circunvoluciones superiores del lóbulo temporal. Deberá ser, asimismo, de validez general la división del trabajo entre las circunvoluciones del lóbulo temporal izquierdo y del derecho: análisis temporal rápido en el izquierdo y asimilación de la altura de los tonos en el derecho.

Dentro incluso de las diferencias individuales en el procesamiento de la música existen algunos principios universales:

- El cerebro se adapta a lo aprendido, por lo que a los análisis temporales y de tonos sencillos se refiere, en las circunvoluciones superiores del lóbulo temporal.
- En contraposición a un oyente profano, en el cerebro de los músicos profesionales una misma pieza musical aparece representada varias veces: como sonido, como programa de movimientos (al piano), como símbolos (notas), etc.
- La forma en que una persona procesa la música viene determinada por la suma de todo lo que ha aprendido, es decir, por lo que podemos llamar la “biografía de aprendizaje” auditivo.

No podemos, por último, olvidar que también las emociones influyen en las redes neuronales del cerebro, ni que las representaciones de la música dependen del marco cultural correspondiente.

### 3. LOS PARTICIPANTES del experimento de aprendizaje tuvieron que tocar secuencias tonales cuya dificultad iba de mínima (a) a notable (b).



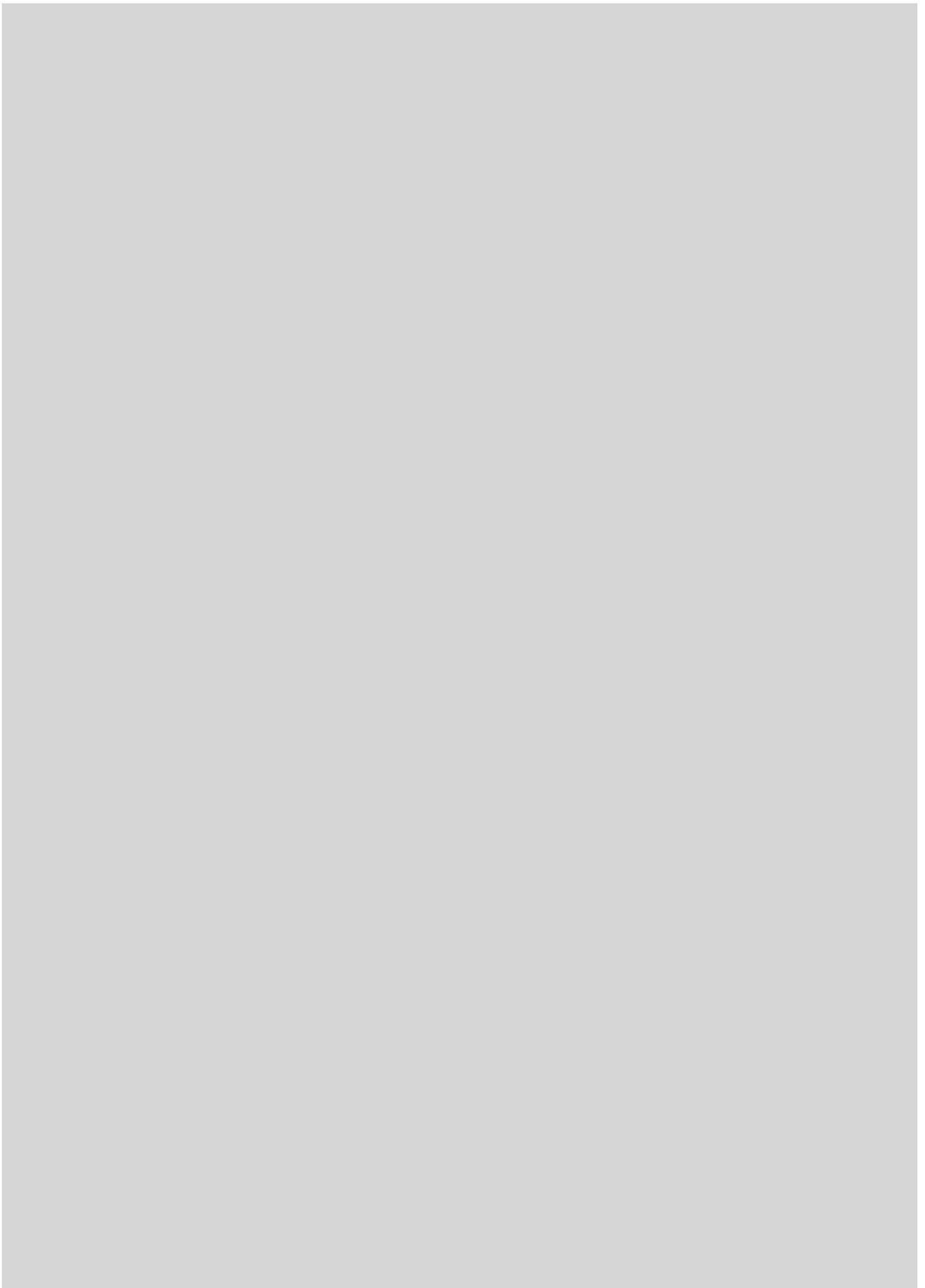
ECKART ALTENMÜLLER enseña psicología y neurología musical en el Centro Superior de Bellas Artes de Hannover.

#### Bibliografía complementaria

DIE MUSIK IN GESCHICHTE UND GEGENWART. Dirigido por L. Finscher. Bärenreiter; Basilea, 1995.

DAS WOHLTEMPERIESTE GEHIRN. R. Jourdain. Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, 1998.

HOW MANY MUSIC CENTERS ARE IN THE BRAIN? E. Altenmüller en *Annals of the New York Academy of Sciences*, pág. 930; 2001.



# Neurobiología del miedo

De las sensaciones, las mejor comprendidas desde el punto de vista neurobiológico son el miedo y el temor. Ambas emociones básicas, imprescindibles para la supervivencia, pueden llevar a degeneraciones patológicas

Rüdiger Vaas

**I**maginémonos perdidos en el desierto de Almería. De pronto nos encontramos con una serpiente. ¿Cuál es nuestra reacción? El pánico nos invade; el corazón empieza a latir veloz y descontroladamente. Nos ponemos en pleno estado de alarma, la respiración se hace cada vez más agitada, sudamos, temblamos e intentamos correr a la desesperada. Pero estamos atenazados por el pavor.

El miedo y el temor son algunas de las pocas sensaciones básicas que compartimos con muchos animales. Su constitución está genéticamente estructurada de tal suerte, que despliega mecanismos de alarma o de protección en caso de peligro inminente o, incluso, ante la mera

posibilidad de una agresión exterior. La consecuencia suele ser o la huida ante el peligro o el intento de evitarlo y de combatir sus causas. La franja emocional va desde el miedo ante amenazas concretas (en el caso extremo, el miedo a la muerte), pasando por el miedo a ser abandonado —por ejemplo, en los bebés y niños pequeños— hasta fenómenos como el miedo vital, existencial y cósmico.

Según algunas encuestas, a lo que más teme el hombre es a las grandes alturas o a los animales peligrosos, en particular a los ofidios. Digno de mención es también el miedo a las lesiones corporales y enfermedades, a los lugares públicos abiertos, al tráfico y a los espacios angostos. Es así mismo muy común el miedo infantil a la oscuridad, aunque

esta última sensación suele decrecer con la edad.

El miedo reduce la alegría que acompaña a la indagación o al descubrimiento de algo nuevo, reprime el instinto lúdico y frena la iniciativa y la creatividad. En el polo opuesto, hay personas que sienten gusto jugando con el miedo —por supuesto, bajo control— en una gama que se extiende desde el placer ante los relatos de aventuras y las galerías de los horrores hasta las películas de terror.

## Entre el “ello” y el “superego”

Desde hace tiempo los psicólogos vienen ocupándose del fenómeno del miedo, con métodos hartamente dispares. Una forma de abordarlo es atendiendo a los síntomas corporales que origina. William James (1842-1910) sostenía que el miedo



## El miedo en la historia de la cultura

El historiador de la cultura Jakob Burckhardt (1818-1897), en su lección sobre “Suerte y desgracia en la historia mundial”, nos recuerda que “la historia natural presenta ante nuestros ojos una lucha angustiada por la existencia; y hay que retrotraer esta lucha hasta el origen de los pueblos y de la historia humana”. El miedo y la forma de evitarlo han constituido siempre un acicate para el desarrollo de la vida y el de la propia historia de la cultura. De hecho, al menos en el mundo occidental, apenas hemos de enfrentarnos ante situaciones desencadenantes de temor por motivos naturales. Es muy raro que nos encontremos con serpientes, tigres y cocodrilos. Pero en ese empeño por domar la naturaleza y a nuestros congéneres hemos creado nuevos peligros: desde las autopistas hasta el efecto invernadero, desde las armas automáticas hasta el bioterrorismo y la masacre nuclear.



Grabado al cobre de Charles Lebrun, de *Méthode pour apprendre à dessiner les passions*.

Y no representa ninguna ventaja el hecho de que tales peligros reales se nos antojen demasiado abstractos como para provocar auténtico miedo. William James (1842-1910) resaltó que en nada se refleja tan manifiesta la superioridad del hombre sobre el reino animal como en la disminución de las condiciones desencadenantes del temor en el ámbito humano. Pero esta realidad se ha revelado posteriormente como una forma de dudoso progreso. Además parece evidente que, en

un sentido más amplio, estamos sometidos incluso a más miedo que antes. Opina Irenäus Eibl-Eibesfeld, biólogo y filósofo, que el hombre es quizás el ser más medroso de todos los seres, puesto que en él confluyen el miedo elemental a los depredadores y a los congéneres hostiles con las fundamentales angustias existenciales.

Los habitantes de la antigua Grecia remitían siempre el miedo a objetos concretos. El llamado miedo cósmico es, por el contrario, un fenómeno posterior. Aristóteles (427-347 a.C.) y Platón (384-322 a.C.) vieron el miedo sólo desde el prisma de las reacciones corporales. Es significativo que no aparezca como tema en el tratado aristotélico “De anima”. Las religiones, por una lado, prometen la liberación del miedo, aunque, por otro, atizan este sentimiento. San Agustín (354-430 d.C.) veía en el miedo una de las cuatro pasiones humanas fundamentales; santo Tomás de Aquino (1225-1274) distinguía entre el temor menor al castigo (*timor servilis*) y la categoría, de rango superior, del temor a la culpa con respecto a la veneración divina (*timor castus*).

En el ámbito de la fe en el progreso y del racionalismo de la época moderna el miedo no ocupó nunca ningún lugar relevante entre los intereses filosóficos. Pero vino un nuevo giro en el siglo XIX. Søren Kierkegaard (1813-1855) estimaba que la angustia existencial —referida al ser— era característica del pensamiento humano y confiaba en que “el salto en la fe” podía superarla. Martin Heidegger (1889-1976) constataba que aquello “de lo que el miedo tiene miedo es del ser-en-el-mundo mismo”; el “ser ahí” (el hombre) tenía miedo de su no-ser, de ser un “ser para la muerte”. Y para Jean-Paul Sartre (1905-1980) el miedo es, a su vez, una “cualidad de nuestra conciencia” como condición previa de la libertad a la que el hombre está condenado. Según esto el miedo no sería necesariamente algo negativo, sino lo que puede llevar al hombre a su “propio ser”.

y otras emociones respondían sólo a una reacción de los órganos internos como palpitations cardíacas o contracciones pectorales. Sigmund Freud (1856-1939) distinguía entre el miedo real del “yo” al mundo exterior, el miedo angustiante al “superego” y el miedo neurótico del “ello” a la fuerza de las pasiones. En opinión del fundador del psicoanálisis, el miedo morboso surge de los conflictos entre los instintos básicos (así, la aspiración de autonomía o el deseo sexual) y la realidad social (por ejemplo, las normas morales).

Alfred Adler (1842-1925), psicólogo de la individualidad, relacionaba los miedos sociales con el sentimiento o complejo de inferioridad. El hombre experimenta miedo, afirma, cuando reprime su instinto de agresividad. Del miedo entendido como un estadio de breve duración separan los psicólogos de la per-

sonalidad una medrosidad general, que sería característica de la personalidad y, por ende, rasgo parcialmente hereditario. Quien en su infancia se revela astudado y tímido, se mostrará luego emocionalmente inseguro, miedoso y deprimido; además, corre el riesgo de contraer alguna enfermedad psíquica. Existe, pues, el peligro de que se inaugure un círculo vicioso de repliegue sobre sí mismo y de aislamiento social. Por ello los psicólogos de la personalidad recomiendan empezar cuanto antes un tratamiento psicoterapéutico.

En conexión con lo anterior, los psicólogos del aprendizaje se han concentrado en un aspecto de singular importancia. Según ellos se aprende el miedo a lo largo de un proceso de condicionamiento. Si la incidencia de un estímulo neutro coincide con uno desagradable, el primero puede desencadenar por sí solo

la reacción de temor. De esta manera un sonido, en principio inofensivo, puede desencadenar sentimientos de miedo. Sucede, también, que determinadas formas de comportamiento pueden vincularse a una vivencia desencadenante de temor. Aprender a conocer el miedo ayuda en muchas ocasiones a evitar los peligros. Pero a veces comporta graves problemas.

### Arañas y serpientes

Los trastornos provocados por el miedo encabezan la lista de las enfermedades psíquicas más frecuentes, excluidas las drogodependencias. Más del diez por ciento del censo occidental sufre tales trastornos. Se aprecian dos categorías principales: fobias y estados de angustia. Las fobias remiten al miedo exagerado a determinados objetos, animales (arañas y serpientes, en particular) y situaciones (alturas o espacios cerrados).

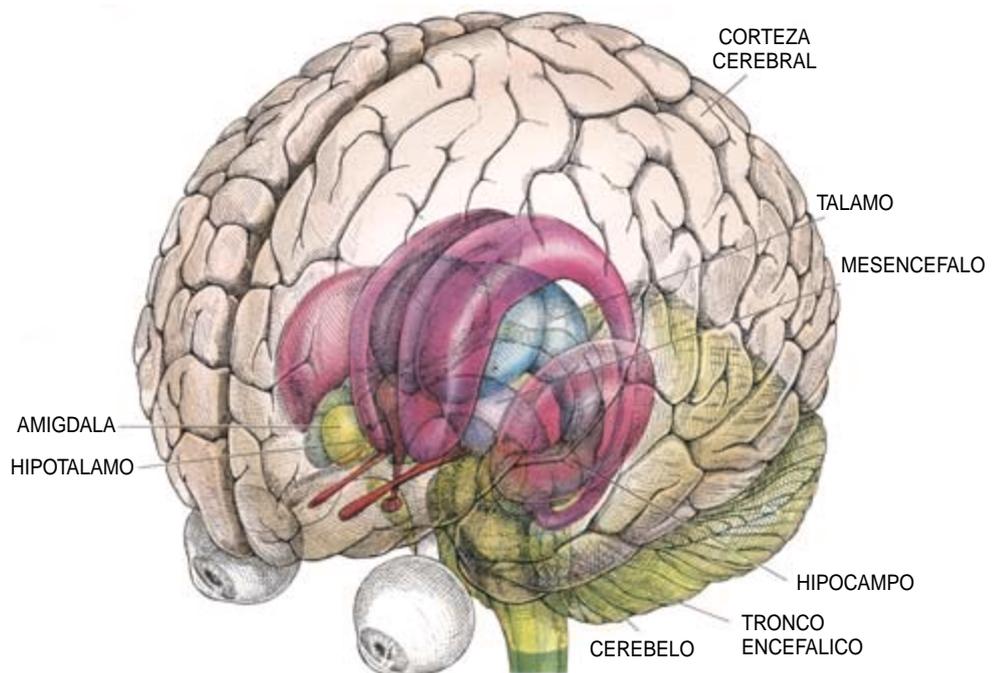
**1.** LA AMIGDALA recibe, por un lado, las informaciones del tálamo, una estructura cerebral integradora de informaciones sensoriales y motrices, y, por otro, los mensajes de las regiones de la corteza responsables de las percepciones sensoriales. La amígdala remite señales a la corteza cerebral. Además, está conectada a sistemas que aumentan la estimulación general de la corteza y, a través de ellos, al prosencéfalo. En situaciones de peligro, la amígdala puede influir en la capacidad de atención, percepción y memoria.

Adicionalmente, las señales orgánicas del miedo pueden retroalimentar la amígdala y la corteza cerebral.

La amígdala consta de trece núcleos íntimamente conectados entre sí. De la reacción ante el temor se ocupa el ubicado en el centro y los de la parte inferior. El núcleo central recibe informaciones de la corteza, hipocampo y tálamo. Dichas informaciones las remite a estructuras cerebrales que dirigen las diferentes reacciones emocionales. El hipotálamo aumenta la presión sanguínea y regula la liberación de hormonas de estrés; el tronco encefálico y el mesencéfalo transmiten la rigidez vinculada al terror y las reacciones derivadas del espanto. Los núcleos laterales e inferiores reciben señales del tálamo y dirigen las diferentes formas de comportamiento, como, por ejemplo, el cambio de sentido en la huida.

Por su parte, los estados de angustia —de los que las obsesiones constituyen un ejemplo— provocan reacciones incontrolables o de pánico, que se adueñan de muchos ámbitos mentales. La persona afectada está a veces en condiciones de describir lo que le atemoriza, pero no puede explicar las causas.

Los individuos con este tipo de trastornos pueden percibir como peligros obvios e inminentes las más diversas influencias del entorno, así como sus propias pautas de comportamiento. La verdad es que algunos mensajes vegetativos y no controlables del propio cuerpo pueden desencadenar ataques de pánico según en qué circunstancias. Sólo se librará del miedo aquel que se enfrente a su propia situación. Las distintas terapias siguen diferentes estrategias, aunque permanece abierta la polémica sobre la eficacia de los diversos métodos de tratamiento.

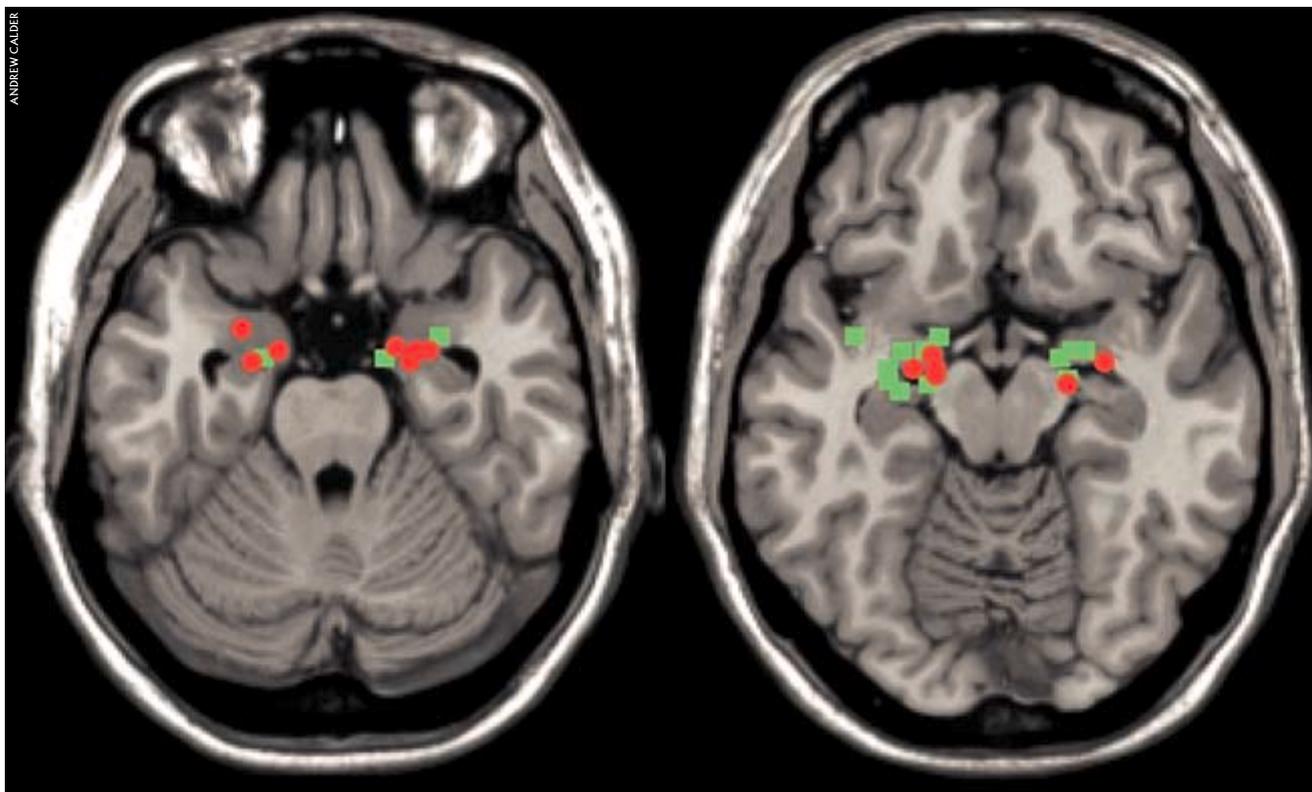


Los psicoanalistas intentan, por ejemplo, descifrar los conflictos inconscientes. En cambio, otros especialistas rebajan el significado de los recuerdos inconscientes y prefieren combatir los síntomas. A éstos pertenecen ciertos representantes del behaviorismo. De acuerdo con esta corriente, el comportamiento proviene siempre de factores externos. Por datos de experiencia se sabe que la terapia conductista ayuda a resolver trastornos, especialmente en el caso de las fobias. Aquí se utilizan dos métodos opuestos: la desensibilización intenta reducir paulatinamente la susceptibilidad del paciente frente al estímulo que desencadena el miedo, haciendo que se vaya acostumbrando a éste poco a poco. Por el contrario, la inmersión en el miedo expone al paciente al estímulo en forma de shock para “insensibilizarlo”. Ambos procedimientos buscan desencadenar un contracondicionamiento; dicho de otro modo, el paciente debe olvidar el miedo que empezó a experimentar. La terapia cognitiva, mediante el diálogo, intenta, a su vez, que el paciente controle sus sensaciones de miedo. Para ello le ayuda a cambiar su perspectiva ante tales sensaciones. También pueden ayudar los ansiolíticos y otros fármacos; si bien, deben acompañarse de psicoterapia para amortiguar los posibles efectos secundarios.

### Pánico y circulación sanguínea

Se ha avanzado bastante en el conocimiento de las bases neurobiológicas del miedo y del temor, sin duda las formas mejor estudiadas de las emociones. Por lo que parece, no existe ninguna zona cerebral exclusiva donde se produzca y se haga consciente el miedo. Procede de una conjunción de diversas regiones del cerebro.

Lo mismo acompañando el miedo cotidiano que en casos especiales de ansiedad, el flujo sanguíneo aumenta considerablemente en algunos puntos de los lóbulos temporales. En sentido opuesto, ciertas sensaciones de miedo pueden estar originadas por estímulos eléctricos o provenir de ataques epilépticos. En el miedo y en otras emociones interviene, asimismo, la parte inferior de la corteza prefrontal, responsable de funciones superiores del cerebro. Si la corteza está dañada, la lesión afecta no sólo a las propias sensaciones, sino también a la capacidad de reconocer sensaciones en otras personas. Después del nacimiento de una persona, la corteza prefrontal necesitará todavía de siete meses a un año para desarrollarse plenamente. Quizá se inicie en ese momento en los niños el sentimiento de temor a lo desconocido, pues sólo a partir de esa edad pueden registrar la antedicha forma de miedo. Otras regiones del miedo son las islas laterales del cerebro y una zona de



**2.** MEDIANTE TÉCNICAS de resonancia magnética funcional se puso de manifiesto que las amígdalas se activan con el procesamiento de expresiones faciales derivadas del miedo (*cuadrados verdes*) y con el miedo condicionado (*círculos rojos*). La ilustración muestra dos planos de cortes horizontales de un cerebro (*a la derecha: plano superior*). Se observa la distinta actividad de las amígdalas en los dos procesos de elaboración, diferencia constatable no sólo entre ambos hemisferios cerebrales, sino también entre los dos planos de los cortes. Una expresión facial de miedo activará, de preferencia, la amígdala izquierda superior.

la región occipital llamada córtex extrastriado, que participa en el procesamiento de lo observado.

En la producción de la sensación de miedo desempeña una función importante el hipotálamo, ubicado en el mesencéfalo. Se trata de uno de los objetivos habituales al que apuntan los psicofármacos. El hipotálamo gobierna el sistema hormonal y ejerce una gran influencia

en el sistema nervioso simpático, que transmite los síntomas corporales del miedo. Aunque por un lado activa los recursos del cuerpo para el desarrollo de su actividad, por otro puede llevar también a la paralización y a la rigidez. Tal “rigidez del terror” pudo haber constituido una notable ventaja en la evolución, puesto que muchos depredadores reaccionan ante el movimiento de sus presas.

Si el hipotálamo, en una situación de amenaza, recibe mensajes de estrés, segrega la hormona liberadora de corticotropina (CRH), que a su vez estimula la hipófisis para la producción de la hormona adrenocorticotrófica (ACTH). Este mensaje provoca, por su parte, que la corteza adrenal libere la hormona del estrés, cortisol, y que el organismo se ponga en actitud de defensa.

La ciencia sitúa dicha reacción en cascada de hormonas en el origen del miedo. En un experimento realizado con ratones manipulados genéticamente se comprobó que estos animales, al no poder producir una proteína enlazante con la hormona CRH, mantenían una mayor cantidad de CRH libre y activa. Debido a ello, los ratones persistían en situación de miedo, incluso sin causa externa.

## Miedo y temor

El término miedo designa un sentimiento general, difuso, no referido a un objeto y sin orientación concreta. En esta acepción, el miedo no tiene por qué provocar ninguna reacción concreta. Más bien despierta una observación atenta del entorno, potencia la sensibilidad de los sentidos y aguza la percepción de los dolores. El temor, por el contrario, es

más específico, tiene sus referentes en determinados objetos o situaciones e induce a la huida, la ocultación o al ataque. Por todo ello el temor es una especie de reacción de alarma que impele a determinadas acciones y reduce la sensación de dolor. Resumiendo, el miedo viene “de dentro”; el temor, al revés, “del mundo exterior”.

## Pesadillas y cerebro

La región cerebral más importante en el origen y memoria del miedo es la amígdala. También llamada núcleo amigdalino, reside en la zona profunda de la porción mesoanterior de los lóbulos temporales de cada hemisferio cerebral.

La amígdala es activa en las representaciones provocadoras de temor y en las situaciones de ansiedad. Si la estimulamos experimentalmente con una descarga eléctrica, aumenta la concentración de cortisol y se exteriorizan las manifestaciones corporales del miedo. Hablamos entonces de sensaciones de miedo. Durante el sueño esa región cerebral despliega una intensa actividad; se presume que constituye la causa de los estados de ansiedad y de las pesadillas.

En caso de lesión de la amígdala se opera una disminución de las sensaciones de miedo, aunque siguen actuando las facultades cognitivas. Por lo demás, los pacientes con lesiones congénitas no distinguen bien la expresión de temor en otros rostros, ni siquiera en fotografías. En esta circunstancia es casi siempre la amígdala del hemisferio cerebral izquierdo la que despliega una especial actividad: mucho más con películas o imágenes que infunden temor. Para ello no hay por qué reconocer la expresión facial de temor.

Los niños pequeños ven las caras de susto incluso sin que su amígdala “grite” horrorizada. La ventaja de este fenómeno podría ser que los lactantes se sienten emocionalmente vinculados sin limitaciones incluso a padres “malos”. Se ha observado que las ratas con unos pocos días de vida no pueden ser condicionadas contra los padres. Al fin y al cabo los lactantes indefensos, hijos de padres desnaturalizados, viven mejor con ellos que sin ellos.

## Terrible aprendizaje

Ya Edouard Claparède (1873-1940) reconoció a principios del siglo XX que la memoria del miedo puede actuar de forma inconsciente. Este médico ginebrino tuvo en tratamiento a una paciente que, por culpa de una lesión cerebral, era incapaz de retener nuevas vivencias. En cada visita debía él presentarse de nuevo. En cierta ocasión, al saludarla, retuvo una chincheta oculta en la palma de la mano. En el encuentro siguiente, la mujer se negó a darle la mano, aunque no podía explicar la razón de su negativa. Claparède dedujo que forzosamente le había llegado a la paciente un aviso de prevención desde una segunda e inconsciente memoria.

## Neurotransmisores y genes

En el proceso cerebral de aparición del miedo participan numerosos neurotransmisores. A una disfunción de los sistemas de neurotransmisores se atribuye también los procesos de angustia. De los efectos de los psicofármacos se infiere que la aparición de la ansiedad podría deberse a una falta de ácido gamma-aminobutírico (GABA), un neurotransmisor inhibitorio. Las benzodiazepinas, utilizadas como tranquilizantes, por ejemplo, el clordiazepóxido (librium) o el diazepam (valium), se unen a los receptores de GABA y refuerzan la acción del neurotransmisor.

Ciertos experimentos con animales han demostrado que la aportación de benzodiazepinas a la amígdala, rica en receptores de GABA, reduce el miedo, mientras que los antagonistas de GABA bloquean dicho efecto. Además, se ha descubierto en el cerebro de las ratas y del ser humano una pequeña proteína que puede desencadenar estados de miedo. Se trata de un inhibidor del enlace con el diazepam, que probablemente se acopla al punto de enganche de la benzodiazepina con los receptores de GABA.

Junto al GABA también influye en la ansiedad la serotonina. El buspirón y la fluoxetina (prozac) actúan sobre los receptores de la serotonina. A determinadas formas de ansiedad se llega, asimismo, por algunas disfunciones en el sistema de la dopamina.

En cambio, determinados opioides endógenos desempeñan un papel importante en los casos de miedo a la separación. Cuando se aísla de la madre a una cría de mamífero, se bloquean neuronas que liberan opioides, hasta el punto que los pequeños no se sienten bien y lo manifiestan emitiendo llamadas de contacto.

De acuerdo con ciertos trabajos de biología molecular la angustia podría tener un componente genético. Desde luego no hay un único gen del miedo, sino muchos relacionados con los neurotransmisores y sus receptores. También parece que algunos genes de los relojes biológicos —responsables de los ritmos internos del organismo— pueden influir en el proceso de la ansiedad, aunque de una forma todavía desconocida.

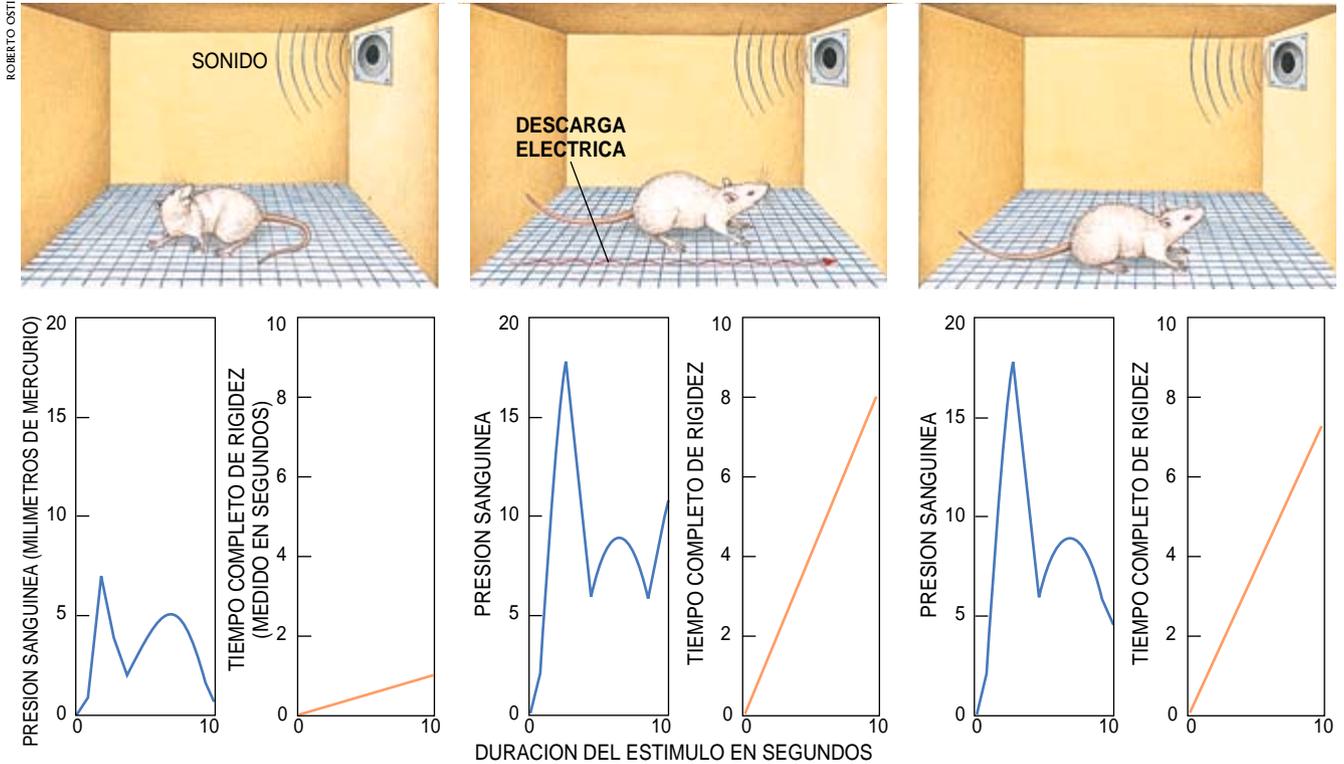
De las observaciones llevadas a cabo en gemelos univitelinos humanos se concluye que se trata de un factor hereditario. En gemelos univitelinos, que se criaron por separado, se comprobó su mayor parecido en el carácter medroso que en otros ejemplos de hermanos bivitelinos. Igualmente parece que los trastornos por ansiedad responden a una predisposición genética, aunque el medio puede contribuir a fortalecer su desarrollo.

Se ha conseguido ya avivar la angustia y su ausencia en ratas. Por regla general rehúsan merodear en campo abierto, expuestas a los depredadores. Pero tras varias generaciones de cruce y selección de ratas extremadamente miedosas o en sumo grado atrevidas se ha comprobado que persistían en espacios abiertos durante largos períodos de tiempo.

Se indagó luego de qué modo alcanzan la memoria situaciones vinculadas al miedo. Se investigó sobre todo en el condicionamiento auditivo del miedo. Si se aplicaba a las ratas una descarga eléctrica en el momento de sonar un ruido, las veces siguientes reaccionaban con signos externos de miedo al percibir el mismo sonido. De esos trabajos se dedujo que el núcleo central de la amígdala desempeña un papel clave como depósito de la memoria; y que las lesiones del núcleo amigdalino condicionan el aprendizaje y afectan también a la expresión del temor. Otros experimentos con animales han conseguido incluso localizar y caracterizar

algunas funciones parciales de la amígdala.

El hipotálamo constituye una zona fundamental para la memoria consciente de los hechos acaecidos. Por eso pudiera llamar la atención que este órgano no entre en acción en el caso de un condicionamiento estándar con un simple estímulo neutro, un sonido por ejemplo. En cambio es importante para condicionamientos con participación del contexto en el que se inscribe el estímulo. Si el estímulo en cuestión se presenta junto con otros (una intensidad lumínica), los estímulos acompañantes pueden desencadenar por sí solos la reacción. Se confirma así la presunción de Claparède de



**3. CONDICIONAMIENTO EXPERIMENTAL DEL MIEDO.** Mientras la rata oye sólo un tono, su presión sanguínea sube poco y apenas se queda paralizada (*izquierda*). Sólo cuando el animal recibe simultáneamente una débil descarga eléctrica a través de la rejilla del suelo de la jaula, exterioriza una manifiesta reacción fisiológica y se queda rígida (*centro*). Después de haber recibido repetidamente estos estímulos, basta sólo el sonido para que se produzca la reacción (*derecha*).

que hay dos instancias diferentes: la memoria consciente para los hechos y la memoria emocional.

Admitir dos memorias separadas, para hechos y sensaciones respectivamente, podría ser la explicación de una omisión frecuente: olvidamos las vivencias responsables de los estados de pánico por la sencilla razón de que el miedo se mantiene y vuelve a aflorar reiteradamente. El olvido guarda una verosímil relación con el mal funcionamiento del hipotálamo en situaciones de estrés. Por el contrario, el estrés estimula la capacidad de

prestaciones de la amígdala. Las hormonas del estrés (el cortisol) refuerzan los condicionantes del temor. De esta forma, el miedo puede quedar grabado en el cerebro pertinazmente y fuera de todo control consciente, sin dejar tal vez de atormentarnos durante toda la vida. En 1890 William James suponía ya que “una vivencia puede remover nuestros sentimientos hasta casi dejar una cicatriz en nuestro tejido cerebral”. Empezamos ahora a entender cómo se forman y actúan estas “cicatrices” neuronales en los trastornos provocados por

el miedo. Podrían quizás aparecer pronto los primeros esbozos de terapia médica para estos casos.

La potenciación a largo plazo encierra un significado particular en la memoria emocional. Se basa en el reforzamiento de las sinapsis, en función de su uso, de ciertas neuronas y requiere de la participación de los receptores de NMDA, unas moléculas peculiares. Cuando se bloquean, deja de funcionar el condicionamiento del temor. Además, durante el aprendizaje del miedo, las células nerviosas producen proteínas suplementarias, un proceso que prosigue incluso después del propio condicionamiento. Se ha comprobado que tales proteínas pueden borrar una reacción de miedo aprendida entre una y dos semanas antes. Esto sucede siempre y cuando haya una descarga previa que provoque la inhibición de la síntesis proteínica en el núcleo de la amígdala. Parece, pues,

## El poder de la palabra

Podemos aprender el temor también única y exclusivamente por la palabra, es decir, al margen de la experiencia personal inmediata. A las personas que participaron en un experimento les anticiparon que recibirían un ligero electroshock al iluminarse un cuadrado azul, pero que no sentirían nada cuando

lo hiciera otro amarillo. Al aparecer el cuadrado azul reaccionaron la amígdala y otras regiones cerebrales que se activan en las sensaciones de miedo, a pesar de que no se efectuó ninguna descarga. Por el contrario, cuando se encendió el cuadrado amarillo no experimentaban ninguna sensación.

existir cierta inestabilidad después de la reactivación de los recuerdos provocadores del miedo. En esa fase lábil podría incidirse cuando se trata de borrar los recuerdos traumáticos con ayuda de los medicamentos.

Pero todo suena todavía a música celestial. Si desde el estado actual de nuestros conocimientos queremos entender y tratar las ansiedades, tenemos que fijarnos en cómo “suprimir” los condicionamientos. Cuando se efectúa una tal cancelación, aparece una y otra vez el estímulo condicionado (por ejemplo, un sonido), pero sin el correspondiente estímulo no condicionado (por ejemplo, un electroshock) hasta que cesa la reacción aprendida, si bien no es que ésta se haya olvidado; acontece sólo que se ha reprimido su actividad en el sistema nervioso. A diferencia del simple condicionamiento, aquí se requiere la intervención de las zonas corticales responsables de los procesos conscientes.

¿Qué sucede en el proceso de una cancelación o extinción? Cuando se condiciona una reacción de temor, las células involucradas se asocian en conjuntos de acción común. Estos se mantienen, incluso después de una tal cancelación, aunque con la pérdida de los accesos activantes. Por eso se activan a veces tales asociaciones celulares de la cancelación y llegan a provocar reacciones de temor. Ahora bien, un condicionamiento de temor puede activarse rápidamente mediante accesos a nuevas conexiones. Resulta bastante plausible que éste sea el mecanismo de la génesis de las fobias.

Puesto que partimos de la base de los recuerdos inconscientes y de las ansiedades al fin y al cabo inolvidables, hemos de intentar reprimir unos y otras. En otros términos: el córtex cerebral “consciente” tiene que bloquear el funcionamiento de la amígdala. De eso se ocupan los susodichos métodos terapéuticos. El psicoanálisis y la terapia cognitiva modifican las apreciaciones y valoraciones que influyen en la amígdala a través de la memoria consciente. Al aprendizaje inconsciente recurre la terapia conductista. En cualquier caso, se dan muchas menos conexiones del córtex cerebral a la amígdala que viceversa. Por ello nos pueden dominar tan fácilmente el miedo y otras sensaciones, mientras que nosotros sólo podemos reprimir voluntariamente y con mucho esfuerzo los impulsos emocionales. Ahí reside una posible explicación de los escasos resultados obtenidos por las terapias, pese a la larga duración de las mismas.

## Más miedo del necesario

Sostiene Joseph Ledoux, de la Universidad de Nueva York, que una de las más poderosas y activas fases de aprendizaje y memorísticas del cerebro es la facultad de formar recuerdos con estímulos relacionados con peligros; y además, movilizarlos más tarde cuando se presentan situaciones similares. Se trata, empero, de un lujo costoso. Experimentamos más miedos de los necesarios. Quizá la culpa resida en nuestro sistema de condicionamiento del temor, sumamente activo, junto con una capacidad exacerbada, la de imaginarnos miedos, y una incapacidad, la de controlarlos.

Miedo y temor son, pues, un arma de doble filo. En el curso de la evolución se han acreditado como potentes señales de alarma y en verdad que son mecanismos de protección ante situaciones peligrosas. Si, pongamos por caso, una persona con una lesión cerebral tiene desconectada la capacidad de sentir miedo, se enfrentará a graves problemas en situaciones sociales y en momentos complejos de otro orden: su capacidad de decisión se hallará muy mermada. Además, el miedo presenta numerosos aspectos negativos. Los déspotas y agresores lo utilizan en forma de opresión y chantaje hasta llegar al terror político. Y lo más grave: si el miedo se torna patológico puede arruinar nuestra vida cotidiana e imposibilitar una existencia normal. Por no hablar de su carácter contagioso.

¿Cuál debe ser, pues, nuestra postura ante el miedo? Como escribió el premio Nobel de literatura Elias Canetti (1905-1994): “Es preferible verbalizar el miedo a seguir arrastrándolo; pero lo mejor, sin pronunciarlo, es transferirlo a la palabra escrita”.

---

RÚDIGER VAAS es neurobiólogo y filósofo de amplia experiencia en el campo de la divulgación científica.

### Bibliografía complementaria

HANDBOOK OF ANXIETY. Dirigido por M. Roth *et al.* Elsevier Science, 1988-1992.

DAS NETZ DER GEFÜHLE. J.E. LeDoux. Hanser; Munich, 1998.

ANGST: EMOTIONEN. R. Vaas en *Lexikon der Neurowissenschaft*. Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, 2000.

NEUROPSYCHOLOGY OF FEAR AND LOATHING. A. J. Calder *et al.* en *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 2, pág. 352; 2001.

# Cerebro y libre albedrío

En la investigación del cerebro y la conciencia,  
las ciencias neurológicas y cognitivas avanzan de forma manifiesta.  
Ese progreso aporta nuevos planteamientos  
a cuestiones filosóficas de larga historia

Michael Pauen

Como cada mañana, el señor Pérez sale de casa hacia el trabajo. En esta época el aire es frío, pero hay un par de rayos de sol que acarician su cara. “¡Qué agradable calorcillo!”, piensa para sí, mientras se encamina calle abajo. Hoy decide ir a pie, aun cuando tardará diez minutos más. Dobla a la derecha por la calle de la Muralla.

El señor Pérez olvida en seguida el acontecimiento, pese a haberle ocurrido algo tan excepcional, que los filósofos llevan dos milenios largos dándole vueltas. La radiación solar provoca en su rostro una sensación, vehiculada por neuronas, que él percibe como “agradable”. Todos sabemos lo que es eso: el calor del sol sobre la piel. Pero, todavía hoy, nadie conoce la relación exacta entre la actividad de las neuronas y nuestras sensaciones subjetivas. Expresado de una manera directa: ¿es la actividad de las células nerviosas, en último término, *uno y lo mismo* que la sensación “noto calor en la piel”? ¿O se produce la sensación consciente como algo *añadido* a la actividad nerviosa? Estas preguntas apuntan a uno de los problemas de más dilatada historia en filosofía, el célebre

problema de alma y cuerpo. En su formulación actual: ¿cómo se relacionan con nuestra conciencia las actividades de las neuronas cerebrales y otros procesos corporales similares?

Desde hace algunos decenios y de forma creciente, una nueva disciplina viene ocupándose de estas cuestiones. Abarca las ciencias neurológicas y cognitivas. Sus logros son impresionantes. Si ya se sabía que los procesos conscientes se basan sobre todo en actividades que tienen lugar en la corteza cerebral, ahora nos estamos formando una idea cada vez más detallada. Así, conocemos ya que las sensaciones de dolor comprenden dos elementos independientes, que se elaboran en áreas del cerebro distintas. Uno de los elementos hace que sintamos el dolor como molesto; se elabora en el cíngulo anterior, en un área cercana a la frente. Por otro lado, las sensaciones dolorosas también dicen algo sobre el tipo y lugar del dolor en cuestión. De ello es responsable la corteza somatosensorial, región sita tras el surco central del cerebro.

¿Quiere ello decir que está próxima la solución del problema de alma y cuerpo? ¿Sabremos pronto cómo se produce neurofisiológicamente el contenido

consciente “dolor”? ¿Substituirán las ciencias neurológicas con investigaciones rigurosas los interminables debates de la filosofía? Vistas más de cerca, sin embargo, las cosas aparecen más complicadas. En vez de tornar superflua la filosofía, las ciencias neurológicas suscitan, ellas mismas, una serie de cuestiones filosóficas fundamentales.

De entrada, conviene definir con exactitud los conceptos. Cuando el señor Pérez habla de conciencia, puede referirse a algo completamente distinto de lo que por tal entiende su vecino. Pérez podría pensar en una “conciencia ecológica”, esto es, en un saber general sobre un tema; podría identificarla con “no estar desmayado” o podría expresar con ese término que posee conocimiento sobre sí mismo y sus estados anímicos. Pronto ampliaremos este punto.

Compete también a la filosofía distinguir netamente del saber cierto las suposiciones inciertas, para después describir las cuestiones restantes del modo más exacto posible. Esto vale especialmente para el problema de alma y cuerpo. Aquí nos enfrentamos con las limitaciones de nuestro lenguaje y corremos por ello el peligro de enmarañar el asunto con formulaciones poco nítidas.



THOMAS BRAUN / G&G

Puede aquí la filosofía hacer una aportación importante. Por su capacidad para captar y estructurar con rigor los problemas, puede poner de manifiesto posibilidades de solución que sirvan de punto de arranque de la investigación experimental. Pero también pertenece a las tareas del pensamiento filosófico el mantener ante la vista las consecuencias de largo alcance de los nuevos resultados. En el supuesto de que los biólogos descubrieran que las convicciones, juicios y decisiones se realizan a través de procesos neuronales del cerebro que tienen lugar de modo determinístico, ¿podría eso significar que el señor Pérez no ha decidido libremente ir a pie, sino que depende totalmente, igual que un robot, del “cableado” de su órgano del pensamiento? Vemos, pues, que la investigación del cerebro y la conciencia afecta directamente a la autocomprensión del hombre.

En lo que sigue presentaré tres problemas del complejo temático que gira en torno al cerebro y la conciencia. De singular importancia los tres, mostraré cómo los trata la filosofía.

*Cuestión 1: ¿Cómo se relacionan mutuamente los procesos en el cerebro y la conciencia? (el problema clásico de alma y cuerpo)*

*Cuestión 2: ¿Hay una explicación científica cabal de la conciencia?*

*Cuestión 3: ¿Qué efectos tienen los resultados de las ciencias neurológicas sobre nuestra imagen de nosotros mismos como sujetos libres y responsables en el obrar?*

### **¿De verdad sólo neuronas?**

Algunos filósofos de la antigüedad, lo mismo que viejas mitologías y religiones, consideraban el espíritu una substancia autónoma; en ocasiones incluso se le representó como un “homúnculo”, o sea, como una edición en miniatura de

**1. EN NUESTRO CEREBRO** trabajan miríadas de células nerviosas; pero qué relación guardan los procesos neuronales con nuestro ser humano sigue siendo un enigma.

un hombre, que “observa” a la vez las actividades del cerebro. Hoy suele designarse con el término “conciencia” un conjunto de fenómenos espirituales —convicciones, actos de deseo o sentimientos de temor, etc.—, que son vividos de forma totalmente inmediata desde la perspectiva de la primera persona. Aquí “inmediato” significa que nos damos cuenta de esos estados sin necesidad de percepciones de nuestros sentidos, ni tampoco de razonamientos.

El señor Pérez, por ejemplo, ha de hacer conjeturas acerca de lo que piensan o sienten otros transeúntes. En el mejor de los casos, lo deduce de la expres-



**2. SOLO PODEMOS ADIVINAR** lo que pasa por su cabeza; lo único experimentable es la propia conciencia.

sión de su rostro o de otras informaciones. De manera mediata también —a través de los órganos de los sentidos— se entera de lo que ocurre incluso a su mismo alrededor. Muy distinto, sin embargo, de lo que concierne a sus propios pensamientos y deseos: para llegar a ellos dispone del acceso más directo imaginable; sólo él tiene ese acceso.

Establecido lo anterior, podemos abordar la primera cuestión: ¿cómo se relacionan mutuamente los procesos en el cerebro y la conciencia? El planteamiento riguroso de un problema exige conocer de antemano las posibles alternativas de solución básicas. En este caso son dos: la tesis dualista y la tesis monista. De acuerdo con los *dualistas* nos encontramos aquí ante dos tipos distintos de procesos; opinan los *monistas* que en el cerebro y en la conciencia no hay más que un tipo de procesos. Admiten los segundos, por supuesto, que la experiencia consciente y la actividad de las simples células nerviosas se perciben como fenómenos radicalmente distintos. Sin embargo, atribuyen esa impresión común a que poseemos dos vías de acceso a una y la misma actividad: la perspectiva de la primera persona (lo “subjetivo”) y la perspectiva de la tercera persona (lo “objetivo”). Volveremos sobre esto.

El *dualismo* no es una posición unitaria. Sus formas variantes discrepan en torno a la capacidad causativa del dominio de lo espiritual. Así, el dualismo *epifenomenalista* sostiene que los hechos espirituales se limitan a *acompañar* a las actividades materiales *sin influir* en ellas. Cuando el señor Pérez siente el sol en su cara como algo agradable, tal percepción es sólo un fenómeno concomitante (epifenómeno) de los procesos físicos. Según los epifenomenalistas, pues, no puede ser esta sensación misma la que

conduce a reacciones corporales ulteriores. Ahora bien, tal explicación no resulta muy convincente. Cuando el señor Pérez opta por no tomar el tranvía y sí doblar por la calle de la Muralla, en la decisión parece que tal sensación placentera ha desempeñado un papel determinante. De mayor consistencia que el epifenomenalismo se nos ofrece el *dualismo interaccionista*, propuesto, entre otros, por Descartes, Karl Popper o John Eccles. Según la opinión de estos autores, conciencia y cerebro se influyen recíprocamente: los hechos espirituales pueden obrar (los actos de voluntad) sobre los hechos neuronales (las sensaciones del señor Pérez conducen a impulsos nerviosos que le inducen a doblar). A la inversa, los procesos neuronales influyen en la percepción de hechos espirituales: la calle de la Muralla es sombría y el señor Pérez se arrepiente de su decisión.

Las concepciones dualistas se encuentran ya en mitos y textos religiosos remotísimos. Nada tiene de extraño, dada la manifiesta diferencia radical que se presenta a primera vista entre los hechos espirituales y materiales. Desde una perspectiva científica, sin embargo, esa tajante oposición presenta puntos problemáticos. Por un lado, resulta harto difícil explicar el modo en que hechos no materiales ejercerían un influjo sobre actividades materiales. Por otro lado, no sólo se atendería contra el principio de conservación de la energía, sino que se resentiría también la idea de la “clausura causal” del mundo material, según la cual algo no material no puede tener influjo sobre los procesos materiales. En el marco de esa concepción se excluye que un ángel mueva al señor Pérez a doblar hacia la calle de la Muralla y se rechaza la acción de una substancia espiritual autónoma.

## El dolor es algo más que un grito

Estas dificultades pueden superarse, si se consideran los hechos espirituales un tipo nuevo de procesos del mundo material; como “campos mentales conscientes”, por ejemplo. Podrían éstos comportarse, respecto a las actividades neuronales, como los campos magnéticos respecto a las corrientes eléctricas en un solenoide. Se trata de una presentación que apenas tiene nada en común con las variantes tradicionales del dualismo, que hablan de substancias no materiales. Coincide, sin embargo, en distinguir entre procesos espirituales y neuronales.

Aunque este planteamiento es compatible con una imagen del mundo científica, habría que probar primero empíricamente una nueva clase de interacciones, concernientes por ejemplo a “campos mentales conscientes”. No hay de momento indicio alguno de tal cosa.

¿Qué decir de la tesis monista? Sus defensores ven aquí un tipo *único* de procesos, hablemos de actividad espiritual o de operación neuronal. En su favor cuenta la simplificación. No necesitan introducir los procesos espirituales como una magnitud nueva *además* de los procesos materiales. Con los procesos ya conocidos y descriptibles en el marco de las ciencias de la naturaleza, el monismo tiene bastante.

En su expresión radical, el monismo restringe la investigación científica a la fisiología. De acuerdo con esta posición extrema, cuando en la vida cotidiana hablamos de conciencia, sólo nos referimos a un determinado comportamiento o una tendencia al mismo. Si decimos sentir dolor, nos estamos refiriendo sólo a la tendencia a gritar o a comprar un analgésico. Claro que esta explicación —materialista— no resulta convincente. Hoy desempeña un papel secundario, pues no hace justicia a la realidad de la conciencia. Cuando nos quejamos de dolor, hablamos de una sensación subjetiva, como todos la conocemos.

Por eso la mayoría de las formas de monismo que merecen atención toman ya en cuenta los aspectos espirituales y materiales. Así, la teoría de la identidad. Desarrollada a mediados del siglo XIX por Gustav Theodor Fechner, defiende que los hechos de conciencia son *idénticos* a los procesos físicos. Esta teoría explica las diferencias entre cerebro y conciencia a partir de la existencia de dos formas de acceso distintas. Cuando el acceso se da desde la perspectiva interna de la primera persona —se experimenta el calor del sol sobre la piel—, entonces hablamos de hechos de conciencia. Pero

si, respecto a la misma actividad, nos situamos en la perspectiva externa de la tercera persona, entonces la podemos describir como proceso neuronal o, en general, material.

Aunque esta teoría pueda parecer un tanto artificiosa, en la vida cotidiana se comprueba una y otra vez que dos fenómenos aparentemente distintos no son, a la postre, sino dos caras de la misma moneda. Acontece así cuando escuchamos, y vemos, un violoncelo en un concierto. Manifiestamente disponemos de dos accesos distintos a uno y el mismo proceso, a saber, la percepción acústica y la visual. Una y otra se distinguen entre sí, pero en cuanto coinciden completamente espacial y temporalmente, a nadie se le ocurriría distinguir un violoncelo “acústico” y otro “óptico”.

Si la diferencia entre cerebro y conciencia se reduce a que usamos dos accesos o descripciones distintas, resulta comprensible por qué los partidarios de la teoría de la identidad —a diferencia de los monistas radicales— no pueden afirmar que “en realidad” sólo nos las habemos con procesos materiales y que sólo esos procesos materiales son objeto de una disquisición científica seria. Para el teórico de la identidad, ambas descripciones poseen el mismo rango; ninguna de las dos es “más verdadera” o cien-

tíficamente más respetable que la otra. Desde el punto de vista de la teoría de la identidad, resulta, por último, fácil de entender por qué los hechos espirituales pueden causar algo: al fin y al cabo son idénticos a procesos cerebrales, y éstos están capacitados para influir en otros procesos materiales.

### Comprensible y previsible

Aun cuando consiguiéramos determinar, en todos sus pormenores, los procesos neuronales que están en la base de un cierto tipo de actividades conscientes, persistiría un problema todavía: ni siquiera en esa situación *entenderíamos* de qué forma real se relaciona la actividad de las neuronas con nuestra experiencia consciente.

Cumple de nuevo al filósofo delimitar el problema en sus justos términos. En esa tarea encierra un significado central la distinción entre mera *constatación de que* la conciencia aparece bajo ciertas condiciones neuronales y la *explicación de por qué* se produce bajo esas condiciones. Mas, ¿qué distingue a una explicación de una mera constatación? Supongamos que llegáramos a *constatar* las circunstancias en las que se ha producido un terremoto. Podríamos, así, enumerar una cifra elevada de observaciones y mediciones que hemos reali-

zado a propósito del seísmo. Ahora bien, semejante constatación no nos informa si un determinado acontecimiento se ha producido sólo fortuitamente al tiempo que el terremoto o si ha contribuido causalmente al desencadenamiento del terremoto. Por otro lado, de una lista de observaciones no puede extraerse una generalización que permita establecer que en el futuro se producirán también terremotos en otras condiciones. Incluso en el caso de repetirse todas las circunstancias observadas podría no darse el terremoto, si habíamos pasado por alto un factor importante.

Por el contrario, hablamos de una *explicación* cuando podemos enunciar reglas universales o leyes que, en el caso ideal, determinan exactamente en qué circunstancias *debe* producirse el acontecimiento en cuestión. Ese razonamiento ofrece dos ventajas inmediatas: por un lado, nos hace *comprensible* por qué se ha producido el terremoto precisamente en esas condiciones; por el otro, nos permite generalizar, es decir, afirmar, por

**3. AUN QUIEN LO HA ESTUDIADO** todo sobre la percepción de los colores, no sabe en qué consiste eso de ver colores.





**4. ¿QUE SE SIENTE**, siendo un murciélago? Quizá la investigación neurobiológica pueda llevarnos alguna vez a esa experiencia.

ejemplo, que van a producirse terremotos de ese tipo también en condiciones nuevas y aún no observadas.

Algo muy semejante puede proponerse en el caso del problema de alma y cuerpo. Si conocemos incluso con toda exactitud qué ocurre en las células nerviosas de nuestro cerebro durante un determinado hecho de la conciencia, ello sólo nos sirve para una constatación; a saber: *que* en las condiciones descritas aparecen en la conciencia esos hechos. Pero la constatación no proporcionaría ninguna explicación de *por qué* precisamente éstos y no otros distintos. También en este punto hemos de contar con una doble consecuencia: por un lado, la relación entre cerebro y conciencia quedaría en definitiva incomprensible para nosotros; por el otro, no podríamos formular predicciones sobre la aparición de conciencia en condiciones distintas.

Para entender mejor el significado de esta exposición, detengámonos en dos

célebres experimentos mentales. Protagoniza el primero María, una neurobióloga genial, que posee todos, absolutamente todos los conocimientos científicos pensables sobre la percepción humana de los colores. Pero María no ha visto jamás un color por sí misma: toda su vida ha transcurrido hasta el presente en un entorno completamente incoloro. Incluso el mundo exterior lo conoce sólo a través de un monitor en blanco y negro. Pues bien, la pregunta decisiva es: ¿sabe María, gracias a su perfecto conocimiento neurobiológico, en qué consiste tener sensaciones de color en la conciencia? ¿Experimentaría entonces ella algo nuevo, si se la liberara de su prisión y viera por primera vez un color por sí misma? Con toda evidencia, éste sería el caso. De ello se desprende que los conocimientos neurobiológicos no nos permiten conclusiones generales acerca de los procesos de conciencia; en coherencia, nuestras perspectivas de hallar una explicación para la relación entre cerebro y conciencia serían malas.

#### En el cerebro del murciélago

Mayor claridad aporta un segundo experimento mental. Lo propuso, hace algún tiempo, Thomas Nagel. El protagonismo se le cede ahora a un murciélago. Admitamos la tesis monista y aceptemos, por ende, que la conciencia se reduce a un proceso encefálico. Imaginemos, además, que lo sabemos todo sobre los procesos físicos que se desarrollan en el cerebro del murciélago, desde los más mínimos detalles de biología molecular hasta la interacción de los distintos grupos de neuronas. ¿Alcanzaríamos con ello claridad suficiente sobre la conciencia del murciélago, tal como éste la experimenta desde la perspectiva de la primera persona? ¿Acaso descubriríamos así “qué se siente al ser murciélago”? ¡Evidentemente, no! De nuevo la razón de ello es que nos falta la necesaria explicación. Podemos aceptar la constatación de que determinados procesos neuronales acompañan a ciertos procesos mentales. Pero lo mismo que no entendemos por qué son esos y no otros procesos neuronales completamente distintos, ignoramos también qué pasaría en el plano subjetivo, si se alteraran los procesos neuronales. Las consecuencias no son difíciles de reconocer: no sabemos siquiera si los murciélagos tienen conciencia —o las lagartijas, o las lombrices—. ¿Y a partir de cuándo se puede decir que un niño en formación tiene conciencia y, por tanto, puede ser considerado sujeto capaz de experiencia y de sufrimiento?

Muchos autores aducen que el origen del problema no reside en la insuficiencia de nuestros conocimientos científicos. Antes bien, el saber sobre procesos neuronales sería inadecuado, *por principio*, para proporcionar explicaciones de los hechos conscientes. A primera vista, este diagnóstico pesimista no sólo parece plausible, sino que también lo apoyan los dos experimentos mentales: en ambos casos se supuso que, en cuanto al plano neuronal, se disponía de *todo* el saber pensable.

Si de la primera impresión pasamos a una consideración más atenta, se nos revela que una tal manera de ver las cosas infravaloraría los cambios a que puede conducir el progreso científico. No se limita éste a amontonar hechos; puede promover que nuestra *comprensión* de un determinado orden de cosas cambie de un modo radical.

Para poner de manifiesto la manera en que los nuevos conocimientos alteran nuestra visión de cosas cotidianas, traigamos a colación cómo se han venido entendiendo las propiedades de la luz. Para muchos ilustrados del siglo XVIII resultaba inaceptable que la blanca se descompusiera en colores; el propio Goethe y Schopenhauer rechazaron el principio newtoniano. Hoy, sin embargo, se entiende de suyo la descomposición de la luz blanca en colores, merced a haber incorporado conocimientos científicos en nuestro saber común. Sólo así hemos conseguido acceso a explicaciones científicas plausibles de muchos fenómenos ópticos.

Esa página de la historia de la ciencia nos invita a pensar cuánto podrían cambiar nuestras ideas sobre los procesos cerebrales y los procesos conscientes. Mientras que hoy partimos, pues, de que la conciencia es algo que escapa por principio a una explicación en categorías neurobiológicas, los progresos científicos podrían alterar tanto nuestras representaciones y nuestros conceptos acerca de lo que constituye la conciencia, que pudiéramos aceptar alguna vez una explicación de ese tipo. Aunque no puedo entrar en detalles, sería determinante descubrir características objetivas de la conciencia, externamente cognoscibles.

Hemos avanzado bastante en el camino de la identificación de las características objetivas de los estados de conciencia. En los últimos años, la psicología ha profundizado en los componentes empíricamente aprehensibles de las emociones. Hay, por ejemplo, reacciones bien determinadas y externamente constatables, que son constitutivas de nuestros sentimientos de miedo: entre otras cosas,

se produce una aceleración del pulso y la respiración; además, aparece una tendencia hacia el comportamiento evasivo y defensivo. Sabemos que la amígdala, un centro importante en el sistema límbico del encéfalo, realiza muchas de las características distintivas del miedo. Así pues, si la aceleración del pulso y la respiración, por un lado, son componentes de la experiencia subjetiva del miedo y si, por otro lado, poseemos una explicación neurofisiológica de esos componentes, habremos explicado con ello una parte de la experiencia subjetiva misma.

Claro que nuestro conocimiento es todavía del todo insuficiente; la lista de las características objetivas resulta excesivamente corta. Y lo que reviste mayor alcance, ese conocimiento no ha tenido influencia de peso alguno en nuestros conceptos y representaciones cotidianas. Con tales primeros esbozos no basta para asegurar que podamos algún día enhebrar una explicación completa, aunque tampoco debe excluirse la posibilidad de alcanzar tal explicación.

### ¿Cuánta libertad nos deja el cerebro?

Supongamos que hubiéramos podido demostrar que la conciencia se identifica con determinada actividad cerebral. Asimismo, que hubiéramos logrado explicar mediante teorías neurobiológicas los hechos de la conciencia.

En el marco de tales presupuestos se plantearía la cuestión número 3, la que vincula los resultados de la neurología con la autocomprensión humana. Para abordar el tema me serviré de un ejemplo que muestra muy directamente la necesidad de colaboración entre filosofía y ciencias neurológicas. Me refiero al libre albedrío y la responsabilidad que lleva asociada.

Si hay que identificar nuestras actividades espirituales con procesos cerebrales, que siguen las leyes de la naturaleza, no cabe hablar de libertad. Nuestras acciones no vendrían decididas por nosotros mismos, sino determinadas por leyes neurológicas.

Antes de asentir a esta argumentación, conviene saber que la libertad está ligada a *dos* condiciones. Primera, nunca llamaríamos libre al obrar obligado; es decir, si se nos fuerza a ello desde fuera. La libertad presupone *autonomía*. Segunda, la libertad ha de delimitarse frente al mero azar. Si una descarga puramente casual de las neuronas mueve al señor Pérez a ir a pie, no hablamos de una acción libre, sino de un acontecimiento azaroso. Lo que manifiestamente esperamos de una acción libre es que pueda atribuirse



CAFE / PHOTOSYNTHESIS / IFA-BILDRTEAM

a una persona. Por lo tanto, a la libertad pertenece también la *autoría*. Podemos hacer justicia a ambos criterios si traducimos “libertad” por “autodeterminación”. Esta traducción es mucho más que un juego con las palabras; pone en claro algo que frecuentemente se pasa por alto en la discusión sobre la libertad de la voluntad: la libertad requiere una persona, un “yo” que se determina a sí mismo. Pero no toda forma de determinación puede menoscabar la libertad. Si ese “yo” se determina a sí mismo, no queda limitada la libertad: la determinación por parte del “yo” es precisamente lo que distingue una acción libre de una actividad que surge por mero azar.

Ilustrémoslo mediante una comparación con una democracia parlamentaria. Los intereses y costumbres de los ciudadanos corresponderían a los motivos y carácter de la persona; los acuerdos del parlamento, a los actos de voluntad. ¿Cuándo llamaríamos libres a las decisiones del parlamento? Desempeñan aquí

### 5. SI TODAS NUESTRAS DECISIONES dependen de nociones de valor que se encuentran determinadas en el cerebro, ¿somos hombres libres o marionetas?

un papel decisivo las dos condiciones nombradas: una decisión libre no debe haber surgido ni por una coacción externa ni por mero azar; por el contrario, tiene que depender de los intereses y deseos de los ciudadanos representados. Si el parlamento no se orientara por estos intereses, ya no se hablaría de libertad, sino de pura arbitrariedad.

Volvamos a los actos de voluntad individuales. ¿Qué es el “yo” del que estamos hablando? No debemos confundirlo con una suerte de geniecillo interno, un homúnculo, que dirige nuestras facultades. Pensamos en un núcleo de convicciones y rasgos de personalidad importantes que caracterizan a un ser humano. Por consiguiente, si yo estoy plenamente convencido de que el hurto es reprobable y, partiendo de esa con-

vicción, pago todas las mercancías en la caja, esta acción es el producto de un acto de voluntad libre.

Este planteamiento se halla en oposición a una concepción difundida, no sólo en la tradición filosófica, según la cual libertad y determinación son inconciliables. Pero esta concepción carece de plausibilidad, toda vez que una acción simplemente no determinada no puede depender tampoco de las convicciones, deseos y demás propiedades del autor. Entonces no se podría hablar ya de una acción autodeterminada, sino sólo de una acción indeterminada y, por ello, en definitiva, azarosa.

### ¿Es la libertad una ilusión?

Tras estas reflexiones fundamentales, retornemos a la cuestión de partida: ¿qué significa, para la libertad de nuestra voluntad, la posibilidad de que las convicciones y con ello los móviles de nuestra acción se basen en las actividades cerebrales?

Cuando una convicción es el fundamento de un acto de voluntad libre, la libertad de la voluntad no puede estar amenazada por el hecho de que esa convicción tenga un fundamento neuronal. El caso es lo contrario: en tanto que el proceso neuronal realiza un rasgo central de la personalidad, proporciona a nuestros deseos y convicciones efectividad sobre la realidad física; es decir, constituye una condición del obrar autodeterminado.

¿A qué resultado nos han conducido, por fin, las reflexiones filosóficas? El que las convicciones y valoraciones se realicen neuronalmente no contradice, en principio, nuestra autodeterminación. Lamentablemente, esto no significa que una intensiva investigación filosófica, sin movernos de la butaca, nos haya obsequiado con la libertad. Si existen o no tales decisiones autodeterminadas, no pueden aclararlo los filósofos. En este punto serán decisivas, ante todo, las ciencias neurológicas. Compete a éstas mostrar si las acciones singulares efectivamente son determinadas por rasgos centrales de la personalidad o si dependen, pese a todo, de factores externos.

Sigamos sobre la relación entre conciencia y libre albedrío. De acuerdo con nuestra definición de autodeterminación, los rasgos de personalidad centrales no tienen por qué obrar en todos los casos de modo consciente. Cuando se trate de acciones promovidas por procesos preconscientes, nuestro obrar podría seguir siendo autodeterminado; a saber: cuando esos procesos precon-

cientes dependieran, a su vez, de rasgos personales importantes. También por este motivo, las muy discutidas investigaciones de Benjamin Libet no contradicen radicalmente el punto de vista de que hay acciones autodeterminadas. Libet ha descubierto que al menos las acciones simples (movimiento de una mano) son preparadas ya con procesos neuronales *antes* de que la persona que actúa se decida conscientemente a la acción. Aunque es objeto de controversia qué conclusiones permiten los experimentos de Libet, no se detecta ninguna refutación de la autodeterminación. Posiblemente esos experimentos modificarán nuestra imagen del papel de la conciencia en las decisiones.

Las cuestiones abordadas aquí muestran por qué tienen un significado tan central, para nuestra comprensión del mundo y propia, los problemas de la conciencia y sus fundamentos neurobiológicos. Primero, sin conciencia no sabríamos nada de nuestra propia realidad ni de la del mundo que nos rodea. A la inversa, el conocimiento sobre la conciencia y sus bases físicas nos puede informar algún punto sobre cómo se engendra nuestra imagen de la realidad. A su vez, la conciencia y la autodeterminación desempeñan un papel central en cuestiones jurídicas y éticas fundamentales. Todo nuestro sistema de derecho se basa en el presupuesto de que podemos responder de nuestros actos. Si no fuera verdad, estaríamos obligados a realizar cambios fundamentales en dicho sistema.

La conciencia y la facultad de acción autodeterminada, empero, tienen también una significación central para el concepto de persona. Este, por su parte, desempeña un papel decisivo en algunos de los más importantes debates actuales, por ejemplo, sobre el aborto y la investigación en embriones. Cuanto más sepamos de qué dependen la conciencia y la libertad de la voluntad, y cuanto mejor comprendamos los mecanismos implicados, antes podremos determinar qué seres vivos cumplen estos criterios.

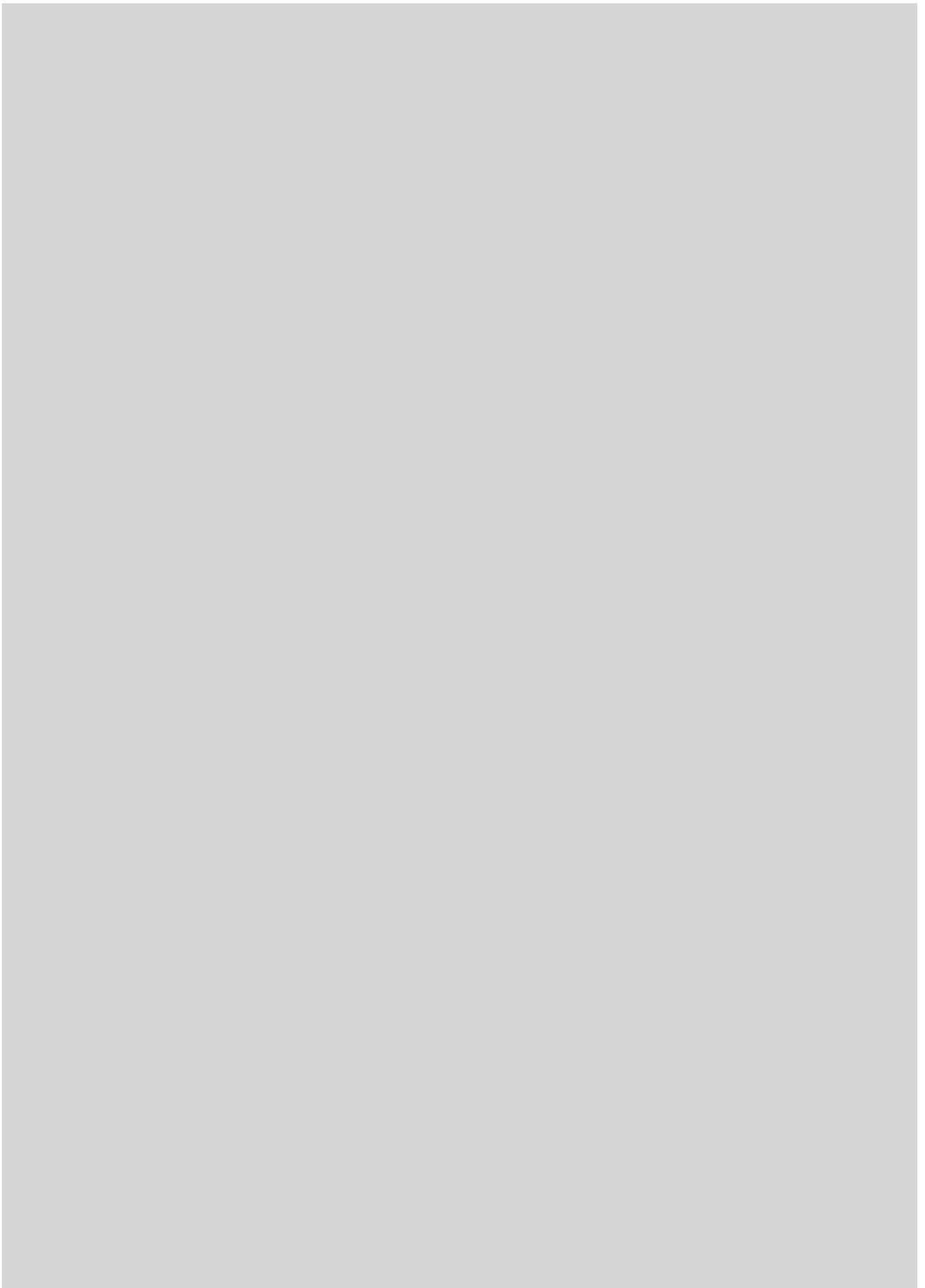
---

MICHAEL PAUEN es catedrático del Instituto de Filosofía de la Universidad Otto von Guericke de Magdeburgo.

#### Bibliografía complementaria

ANALYTISCHE PHILOSOPHIE DES GEISTES. 2ª edición. A. Beckerman. Walter de Gruyter; Berlín-Nueva York, 2000.

DAS RÄTSEL DES BEWUSSTSEINS. 2ª edición. M. Pauen. Mentis; Paderborn, 2001.



# El cerebro en el espacio

Los vuelos espaciales producen cambios permanentes en los circuitos corticales de las ratas durante el desarrollo postnatal. ¿A qué se deben estas alteraciones? ¿Son patológicas o representan cambios plásticos para una mejor adaptación a un nuevo entorno?

Javier de Felipe

**E**l hombre ha evolucionado en un medio terrestre. Su organismo entero se halla adaptado a determinadas condiciones de presión y temperatura, bien conocidas. Desde hace años la medicina espacial ha venido ocupándose de las reacciones del cuerpo de los astronautas ante las situaciones excepcionales que se registran en un medio hostil para el hombre. Pero no existía un estudio sistemático del sistema nervioso. Para paliar esa laguna surgió el proyecto *Neurolab*, centrado en el comportamiento del sistema nervioso en condiciones de microgravedad. De sus resultados dependerán los futuros vuelos espaciales de larga duración.

La misión *Neurolab* surgió a raíz de ser declarado “década del cerebro” el decenio de los noventa. Organizada por la NASA, participaron también agencias espaciales internacionales. A bordo de la nave Columbia, lanzada el día 17 de abril de 1998, para aterrizar el 4 de mayo siguiente, acompañaban a los siete tripulantes una nutrida carga de animales de experimentación: 152 ratas, 18 ratones, 1514 grillos, 223 peces y 135 caracoles. (En la nave viajaron 12 preparaciones histológicas y 9 dibujos realizados por Santiago Ramón y Cajal, en homenaje y reconocimiento internacional al padre de la neurociencia moderna. Sus estudios sobre la microorganización del

sistema nervioso, su interpretación magistral de las preparaciones histológicas y sus ideas sobre la degeneración, regeneración y plasticidad, han proporcionado el esqueleto intelectual de nuestra concepción en torno a la estructura y función del cerebro en condiciones normales y patológicas.)

El Columbia alcanzó una altitud de unos 320 km sobre la superficie terrestre y viajó a una velocidad de 7,5 km/s. Puesto que la nave daba una vuelta a la Tierra cada 92 minutos, hubo 16 amaneceres y 16 atardeceres cada 24 horas durante los 16 días que duró el vuelo espacial. Se realizaron un total de 256 vueltas completas a la Tierra.

Los científicos que intervinieron en el proyecto procedían de diversos países y configuraban 26 grupos de investigación; al estudio de los propios tripulantes se dedicaron 11 grupos, en tanto que el resto se centró en el séquito animal. Por lo que a España se refiere, en la misión *Neurolab* participaron dos laboratorios del Instituto Cajal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas: el dirigido por el autor (estudio de la corteza cerebral) y el liderado por Luis Miguel García-Segura (estudio del hipotálamo).

En el Cajal nos propusimos investigar los efectos del vuelo espacial en el desarrollo de los circuitos sinápticos en el cerebro de ratas que tenían una edad de 14 días en el momento de la expedi-

ción. Ambos laboratorios, además, nos hallábamos integrados en el grupo que se ocupaba de los efectos que ejercía la microgravedad sobre el desarrollo motor postnatal. La representación norteamericana del grupo contaba con Kerry Walton, Dean Hillman y Rodolfo Llinás, de la facultad de medicina de la Universidad de Nueva York, y Robert Kalb, de Yale.

## El espacio, un medio hostil

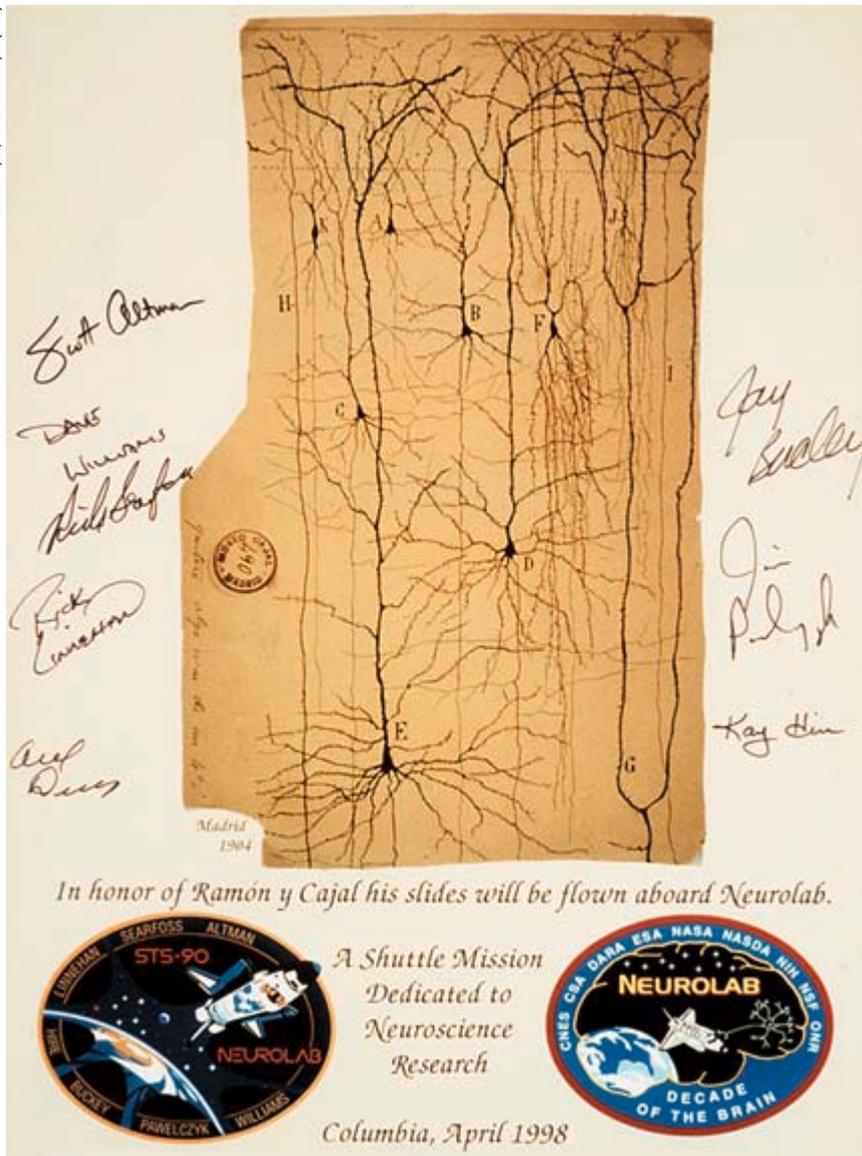
Existen diversos factores relacionados con la microgravedad, las radiaciones cósmicas y el confinamiento, que inciden notablemente en la salud de los tripulantes de las naves espaciales. De esos factores se resienten casi todos los sistemas del organismo.

Fijémonos, por ejemplo, en el sentido de posición y orientación espaciales. Merced a los receptores sensoriales tenemos una información precisa sobre la posición, orientación y movimiento de nuestro cuerpo. El cerebro integra la información procedente de los ojos, oídos, músculos, articulaciones y de los sentidos del tacto y la presión. En particular, la visión nos proporciona la orientación espacial. El aparato vestibular del oído interno nos aporta la noción sensorial de posición y desencadena mecanismos automáticos (reflejos laberínticos) que nos ayudan a mantener el equilibrio. Intervienen los mecanorreceptores, que responden a las fuerzas mecánicas, in-



JAVIER DE FELIPE

**1. CEREBRO Y ESPACIO.** Nuestro cerebro se ha venido conformando, a lo largo de millones de años, en un medio sometido al campo gravitatorio terrestre. ¿Cómo se establecerían los circuitos sinápticos en ausencia de gravedad? La misión *NeuroLab* ha dado el primer paso para responder a cuestión tan decisiva para el futuro de la humanidad.



**2. UNA DE LAS COPIAS DE LOS DIBUJOS** realizados por Santiago Ramón y Cajal que voló con la misión *Neurolab*. En este dibujo, firmado por los tripulantes de la nave, se ilustra algunos de los diversos tipos de neuronas teñidas con el método de Golgi que componen las capas 1-3 de la corteza cerebral humana.

cluidos los que reaccionan al tacto y la presión sobre la piel, así como los responsables de la cinestesia (en articulaciones y cápsulas articulares), que sirven para percibir el movimiento muscular y peso, amén de los receptores de extensión de los músculos.

En su mayoría, estas señales dependen de la fuerza gravitatoria terrestre. De ahí que, en ausencia de ésta, observemos,

por ejemplo, confusión en el cerebro, que provoca ilusiones ópticas y de movimiento. La microgravedad comporta, además, la redistribución de los líquidos corporales; ante la falta de peso, los fluidos corporales se concentran en la cabeza y en el tórax, las venas del cuello se hinchan y la cara se congestiona. Al detectar un aumento de líquidos, el organismo procede a eliminarlos, lo que desencadena una serie de alteraciones renales y hormonales. Por culpa de la microgravedad ciertos músculos se atrofian, con pérdida de masa muscular y ósea; situación que origina, entre otras alteraciones, un aumento en los niveles de calcio plasmático, que, a su vez, puede dar lugar a la aparición de cálculos renales y a la calcificación de los tejidos blandos.

Pero en el medio espacial se producen otras alteraciones que no guardan relación directa con la microgravedad.

Pensemos en las experimentadas por el sistema inmunitario y las del sueño, sin olvidar los trastornos psiquiátricos y psicológicos que derivan de la permanencia en un habitáculo muy reducido y con varios ocupantes. Por último, los astronautas están expuestos a dosis elevadas de radiaciones, que podrían incrementar el riesgo de tumoraciones.

Todas esas amenazas convierten al espacio en un entorno hostil para el hombre. Cierto es que los astronautas suelen adaptarse pronto al mismo y que, con los años, los cambios parecen revertir. Pero no debemos olvidar que nos basamos en datos obtenidos en intervalos de tiempo bastante cortos. El período más dilatado en el espacio lo cubrió Valeri Poliakov, que permaneció 437 días en la estación espacial Mir. No sabemos si las alteraciones son reversibles tras estancias más prolongadas.

Sobre todo, las sufridas por el cerebro. Este órgano se caracteriza por ser muy dinámico, con una enorme capacidad para el cambio como resultado del aprendizaje o en respuesta a lesiones o procesos degenerativos. Tamaña plasticidad adquiere una importancia decisiva durante la época del desarrollo del cerebro.

Nuestro cerebro se ha venido conformando, a lo largo de millones de años, en un medio sometido al campo gravitatorio terrestre. ¿Cómo se establecerían los circuitos sinápticos en ausencia de gravedad? Se trata de una cuestión de palmario interés. Si en el futuro se fundaran colonias humanas en el espacio, ¿cómo serían los niños nacidos allí? ¿Diferiría su cerebro del nuestro? ¿Qué mecanismos de adaptación operarían ante el nuevo ambiente?

La misión *Neurolab* es el primer paso para aportar respuestas a las cuestiones formuladas. Pero antes de exponer los resultados que obtuvimos sobre el desarrollo de la corteza cerebral de las ratas que viajaron en la nave Columbia, conviene tener claros algunos conceptos fundamentales sobre la organización cortical.

### Importancia de la corteza

Sabemos que la información procedente del mundo que nos rodea llega al cerebro a través de un complicado sistema sensorial. Los receptores actúan como transformadores que convierten los estímulos físicos y químicos del ambiente en impulsos nerviosos que el cerebro interpreta y les da significado. El cerebro, la estructura más compleja que se conoce en la naturaleza, consta de miles de millones de neuronas, células gliales (o neuroglía), fibras nerviosas (intrínsecas y extrínsecas) y vasos sanguíneos.

Las neuronas son las células especializadas en el procesamiento y la transmisión de información a otras neuronas, mientras que las células gliales constituyen el tejido intersticial del sistema nervioso. Desempeña la glía varias funciones fundamentales: nutrición neuronal, sostén, regulación del microambiente químico, formación de mielina, defensa contra infecciones y reparación de lesiones neurales.

En las neuronas distinguimos un cuerpo celular y varias prolongaciones, de las cuales solamente una de ellas es el axón y el resto las dendritas. En términos generales, las dendritas reciben señales de entrada procedentes de otras neuronas. Tras la combinación e integración de esta información, la neurona emite una señal de salida, que se transporta a través del axón hasta los terminales axónicos; se encargan éstos de distribuir la información a un nuevo conjunto de neuronas, mediante las sinapsis.

Uno de los fenómenos más notables ocurridos durante la evolución del sistema nervioso central de los vertebrados es la aparición, en la región más rostral o telencéfalo, de láminas superficiales de neuronas que constituyen la corteza. Esta estructura se encuentra presente en varias especies de vertebrados no mamíferos, pero se ha desarrollado particularmente en los mamíferos. Si el telencéfalo de los anfibios carece de corteza, existe ya en los reptiles una bien diferenciada, formada por tres capas: capa plexiforme externa (con muy pocas neuronas), capa celular intermedia (que contiene la mayoría de las neuronas) y capa plexiforme interna (con un número moderado de neuronas).

En los mamíferos esta corteza “simple” o trilaminar se halla en la región olfatoria o prepiriforme (paleopalio) y en la formación del hipocampo (arquipalio); entre ambas zonas media una corteza muy compleja con seis capas, que, por su aparición tardía en la evolución, ha recibido el nombre de neocorteza (neopalio). El paleopalio y arquipalio integran la allocorteza.

La corteza cerebral varía en su tamaño y superficie: desde 3-5 cm<sup>2</sup> por hemisferio en microinsectívoros hasta 1100-2500 cm<sup>2</sup> en humanos. Oscila su espesor entre 1,5 mm y 4,5 mm, según la especie

y región cortical. En el erizo, ornitorrinco y otros mamíferos primitivos, la extensión relativa de la neocorteza es todavía pequeña, pero en los cetáceos y primates la estructura alcanza dimensiones enormes (representa el 92 % de la corteza cerebral en el hombre), llegando a ser la región más grande del cerebro.

A la investigación de la neocorteza se dedican muchos científicos teóricos y experimentalistas, atraídos por la implicación directa de la misma en el comportamiento de los mamíferos y por tratarse de la estructura más “humana” del sistema nervioso. En ella se asientan las facultades que distinguen a los humanos del resto de los mamíferos, desde el lenguaje hasta la capacidad de abstracción.

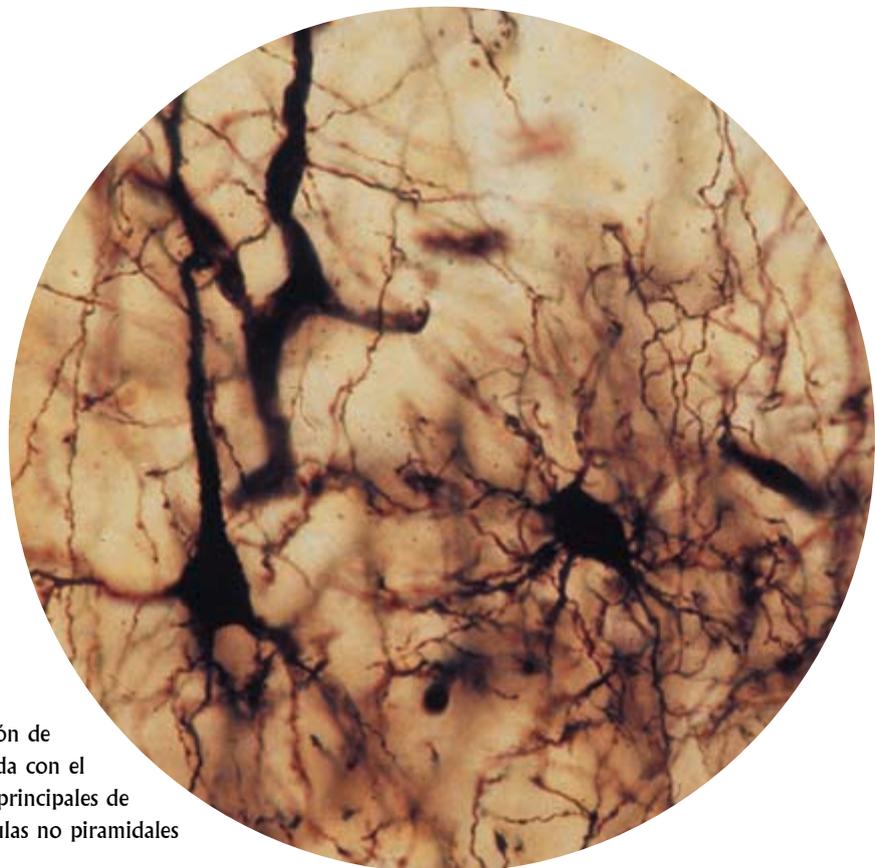
La neocorteza se divide en áreas citoarquitectónicas que cumplen funciones distintas. En el curso de la evolución han alcanzado su máxima complejidad en el hombre. Por mor de simple comparación, aduzcamos algunas cifras correspondientes al ratón y al hombre. Se ha estimado que en 1 mm<sup>3</sup> de neocorteza de ratón existen unas 90.000 neuronas, 300 m de dendritas, 3000 m de axones y 700 millones de sinapsis; en el conjunto de la neocorteza hay 10 millones de neuronas y 81.000 millones de sinapsis. En el hombre el número total de neu-

ronas y de sinapsis de la neocorteza se cifra en 21.000 millones y 300 billones, respectivamente, o sea, unas 2000 y 3500 veces más de neuronas y sinapsis que en el ratón.

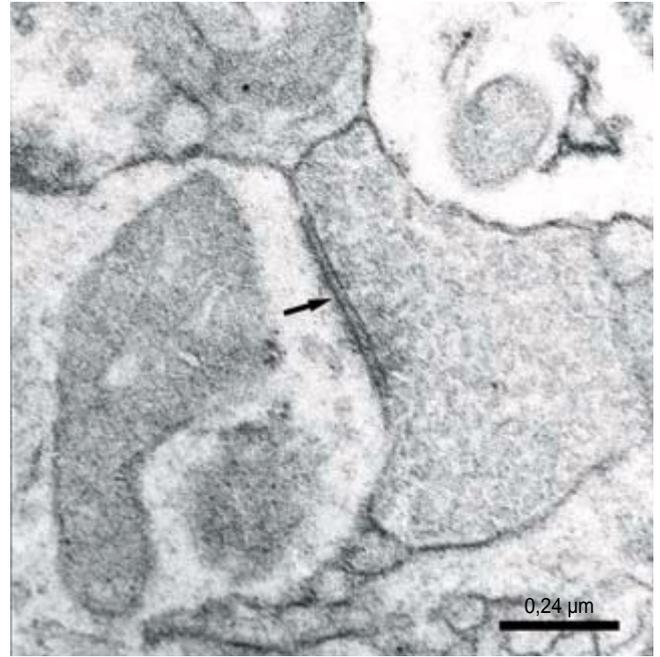
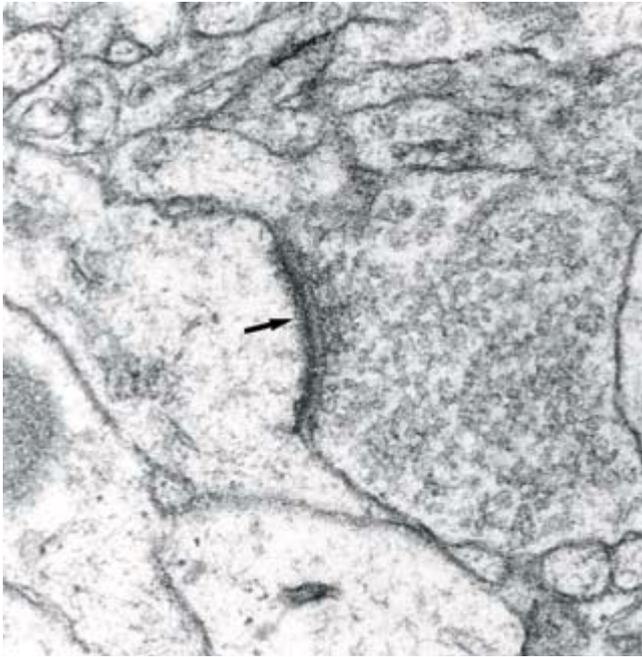
No obstante la dificultad que entraña enfrentarse a tal nivel de complejidad, se ha podido avanzar en el conocimiento de ciertos principios básicos de organización merced al refinamiento de las técnicas disponibles. Por otra parte, la organización general de la neocorteza del hombre y de otros mamíferos es semejante; en consecuencia, muchos de los datos obtenidos en animales de experimentación pueden aplicarse al ser humano.

### Tipos de neuronas y de sinapsis

La múltiple variedad de tipos celulares que componen la corteza cerebral se reduce a dos clases fundamentales: células piramidales y células no piramidales. Predominan las primeras, que constituyen el 75-85 % de la población total de neuronas. También son las principales neuronas de proyección de la corteza cerebral: envían información a otras áreas de corteza y a áreas subcorticales. Las células piramidales cumplen una función excitadora y utilizan, por neurotransmisor, el ácido glutámico, razón por



**3.** MICROFOTOGRAFIA de una preparación de corteza cerebral de gato (polo occipital) teñida con el método de Golgi, para ilustrar los dos tipos principales de neuronas: células piramidales (*izquierda*) y células no piramidales o interneuronas (*derecha*).



**4. MICROFOTOGRAFIA ELECTRONICA** para mostrar los dos tipos principales de sinapsis corticales: sinapsis asimétricas (*izquierda*) y simétricas (*derecha*). Las sinapsis asimétricas se caracterizan por tener una densidad postsináptica prominente (*flecha*), mientras que las simétricas se distinguen por poseer una densidad postsináptica muy delgada (*flecha*).

la cual se las llama glutamatérgicas. Además, las células piramidales de cada capa cortical participan en distintos circuitos sinápticos y se proyectan hacia diferentes centros.

A la clase de las células no piramidales pertenece el 15-25 % de las neuronas corticales. Se caracterizan por el confinamiento del axón en el interior de la corteza. Se trata, pues, de interneuronas. Suelen dividirse las interneuronas en dos grupos: células con espinas dendríticas y células con dendritas lisas, carentes de espinas. El primer grupo, representado por las células estrelladas con espinas, se aloja en la capa IV de la corteza; son neuronas excitadoras. El segundo grupo está constituido por una amplia diversidad de tipos morfológicos, distribuidos por todas las capas corticales. La mayoría de estas interneuronas, inhibitorias, utilizan, por neurotransmisor, el ácido gamma-aminobutírico (GABA), de donde el apelativo GABAérgicas. Tanto las células piramidales como las interneuronas forman conexiones con células piramidales e interneuronas.

La introducción de la microscopía electrónica en el estudio ultraestructural del cerebro supuso un gran avance en el conocimiento de los circuitos corticales. Los primeros trabajos realizados con esa poderosa herramienta revelaron la ultraes-

tructura de las conexiones entre neuronas, es decir, las sinapsis. Se establecen tales contactos mediante la aposición de un terminal axónico presináptico con un elemento postsináptico que, por lo general, es una espina dendrítica, el tallo de una dendrita o el cuerpo neuronal. Entre el elemento pre- y postsináptico media una minúscula hendidura sináptica de 10-20 nm, en donde se libera el neurotransmisor. El terminal presináptico presenta vesículas sinápticas que contienen el neurotransmisor, mientras que el terminal postsináptico muestra un cúmulo de material denso a los electrones situado en la cara interna de la membrana celular, lo que se conoce por densidad postsináptica.

Los neurocientíficos separan las sinapsis asimétricas de las simétricas. Se definen las asimétricas por una densidad postsináptica prominente, en tanto que las simétricas poseen una densidad postsináptica muy delgada. Importa recordar las cuatro fuentes principales de las sinapsis asimétricas: las arborizaciones locales del axón de las células piramidales y de las células estrelladas con espinas de la capa IV, las fibras aferentes córtico-corticales y las fibras aferentes talámicas; todas ellas ejercen una acción excitadora. La fuente principal de sinapsis simétricas son las interneuronas

GABAérgicas. Ello nos indica que existe una relación morfo-funcional; a saber, las sinapsis asimétricas son excitadoras y utilizan el ácido glutámico como neurotransmisor, mientras que las sinapsis simétricas son inhibitorias y se sirven del GABA.

#### El flujo de información intracortical

A través de las fibras aferentes talámicas arriba a la neocorteza la información procedente del mundo exterior. Ahora bien, las fibras terminan de forma segregada. Expuesto de otra manera, los núcleos talámicos que reciben una determinada modalidad sensorial establecen conexiones fundamentalmente con áreas corticales que procesan esa misma modalidad.

Veamos ese proceso con cierto pormenor. Las ramificaciones de los distintos axones talámo-corticales evidencian una extensión intracortical discreta, de unas 500 micras. Preferentemente terminan en las capas medias de la corteza. En el interior de la corteza, las conexiones verticales interlaminares han servido para elaborar la hipótesis de la organización vertical o columnar de la corteza cerebral.

De acuerdo con la misma, parte de la información que aportan las fibras talámicas se transmite a las células de las capas superficiales mediante los axones ascendentes de las células estrelladas con espinas de las capas medias y de las células piramidales que son diana de las fibras talámicas. A su vez, las célu-

las de las capas superficiales pasan parte de esa información a las células de las capas inferiores, mediante conexiones descendentes. Por último, la información procesada sale de la columna cortical a través de las células piramidales, para alcanzar otras áreas corticales (conexiones córtico-corticales) o centros subcorticales (conexiones córtico-subcorticales).

No obstante, la información tálamo-cortical interacciona con la información almacenada y con las entradas provenientes de otras áreas corticales y de centros subcorticales extratálámicos; por tales se consideran el núcleo basal de Meynert, los núcleos mesencefálicos del rafe, el área tegmental ventral o el *locus*

*coeruleus*. De este modo, la respuesta final es el producto de una interacción entre la información almacenada, la procedente del mundo externo y la elaborada por el propio cerebro.

La investigación sobre la organización columnar resulta, pues, decisiva para comprender el funcionamiento del cerebro. Dicho estudio se centra en cuatro cuestiones básicas:

- ¿Cuáles son los circuitos sinápticos y mecanismos fisiológicos mediante los cuales la información procedente del tálamo se transforma en una respuesta cortical?
- ¿Cuáles son los circuitos intracorticales a través de los cuales progresa el flujo de información?

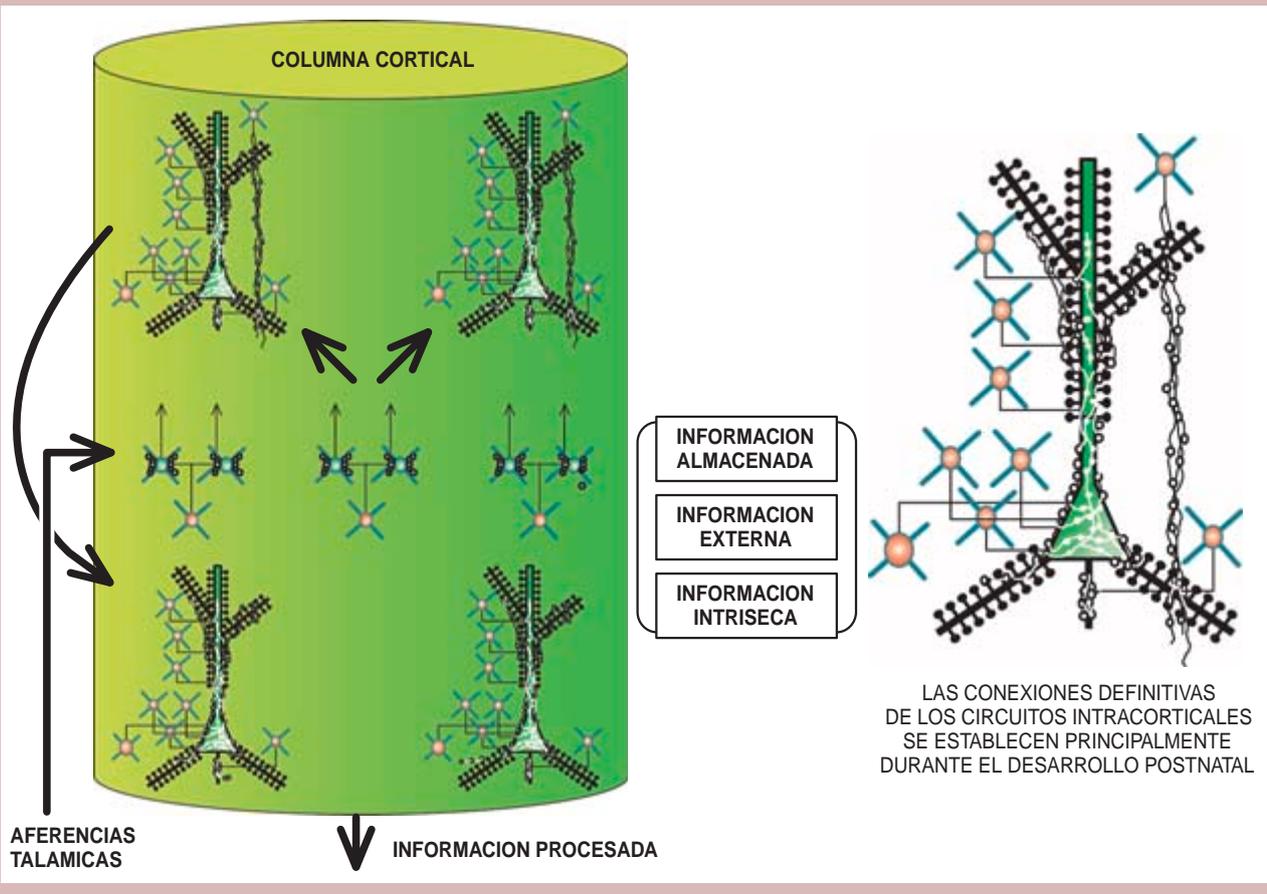
- ¿Cuáles son las influencias de las conexiones verticales en las propiedades funcionales de las neuronas corticales?
- Dado que las células piramidales presentes en distintas capas participan en diferentes circuitos sinápticos y se proyectan hacia centros diversos, ¿recibe cada centro una información peculiar?

Para entender la formación de los circuitos corticales se impone conocer el desarrollo del cerebro. La génesis de la corteza comienza con una proliferación neuronal, seguida por la migración de las neuronas para culminar con la maduración de las conexiones. Las dos primeras etapas, así como la formación de las grandes vías nerviosas, transcurren principalmente durante el período embriónico.

## Flujo de información intracortical

Las fibras aferentes talámicas representan la principal entrada de información del mundo exterior a la neocorteza; alcanzan principalmente la capa IV. Sus neuronas, mediante axones ascendentes, llevan parte de esta información a las neuronas de las capas superficiales; desde aquí, y a través de conexiones descendentes, la información se transmite a las células de las capas inferiores. La información tálamo-cortical, o externa, interacciona con

la información almacenada (memoria) y con la elaborada por el propio cerebro. De este modo, la información procesada que sale de la corteza cerebral es el producto de la interacción entre tres tipos de información. Si durante el desarrollo postnatal no se forman correctamente los circuitos, entonces se altera el procesamiento de información cortical, con la secuela de graves trastornos neurológicos y psiquiátricos.





**5. LAS RATAS** objeto del estudio tenían una edad de 14 días cuando viajaron al espacio y regresaron a la Tierra a los 30 días de edad.

nario. En cambio, la maduración de las conexiones sinápticas constituye ya un fenómeno postnatal.

En la corteza madura, las neuronas se nos ofrecen estrechamente conectadas entre sí. Forman circuitos sinápticos de gran complejidad, cuyas conexiones definitivas se establecen durante el desarrollo postnatal. Si durante este período los circuitos no se han tendido de un modo correcto, se resentirá el procesamiento de la información cortical, con las secuelas de graves alteraciones neurológicas y psiquiátricas.

**6. VISTA DORSAL DEL CEREBRO Y CEREBELO** de la rata (*izquierda*). En azul se indica la región cortical correspondiente a la representación de las patas traseras (área HL, del inglés "hindlimb"). A la derecha, se ofrece una microfotografía de una sección de corteza cerebral teñida con el método de Nissl (que tiñe a todos los cuerpos neuronales en azul) para ilustrar la citoarquitectura de la región HL. M1 es la corteza motora primaria. I, II/III, IV, V y VI son las capas corticales (la capa V se subdivide en capa Va, o superficial, y capa Vb, o inferior).

**Circuitos corticales en el espacio**

En el Instituto Cajal, me propuse con mi equipo (Lidia Alonso-Nanclares, Jon Arellano, Inmaculada Ballesteros-Yáñez, Ruth Benavides-Piccione, María del Carmen González-Albo, Angel Merchán-Pérez, Alberto Muñoz y Azucena Ortiz) determinar si la falta de gravedad producía alteraciones en la microanatomía de los circuitos neuronales de la neocorteza de la rata en desarrollo. Los resultados a los que llegamos se obtuvieron en colaboración con los laboratorios de Walton y Llinás.

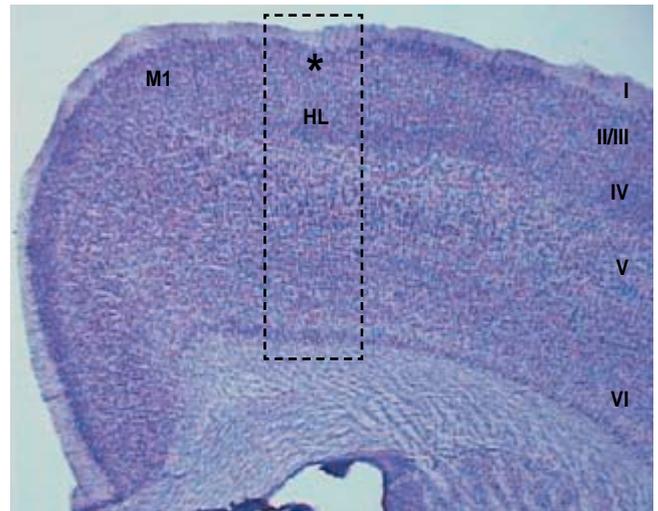
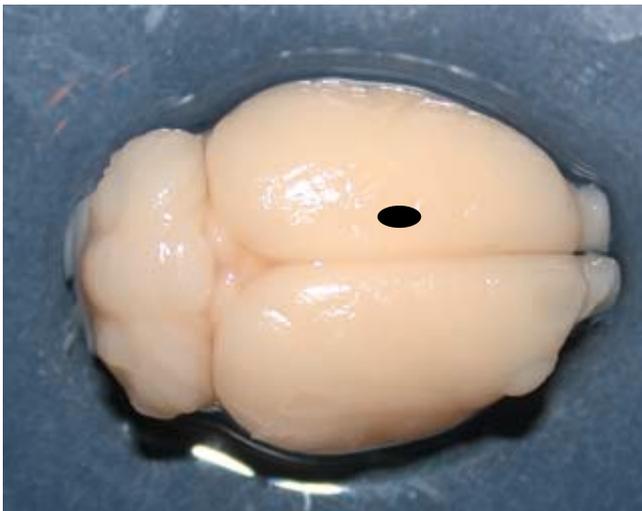
Las ratas objeto del estudio tenían una edad de 14 días cuando viajaron al espacio y regresaron a la Tierra a los 30 días de edad. En adelante llamaremos ratas ESP a las viajeras, para distinguirlas de las normales control, o ratas NOR. Puesto

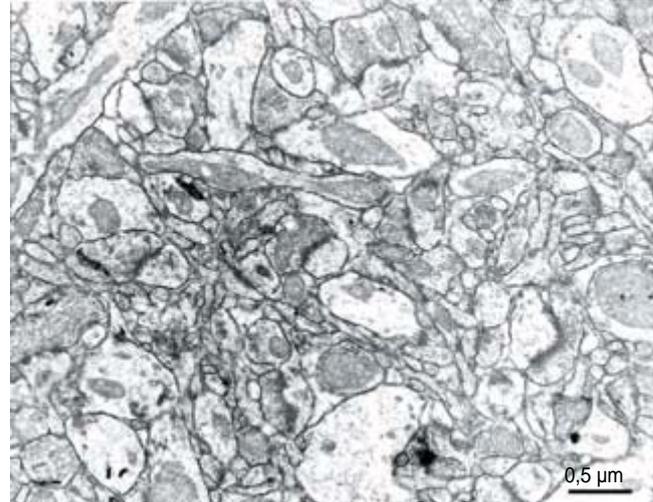
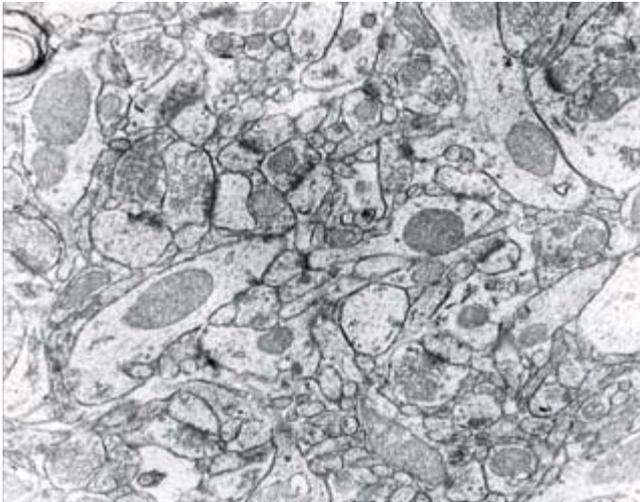
que la ingravidez produce una atrofia de los músculos antigravitatorios, en particular de las patas traseras, queríamos saber si las alteraciones sensorio-motoras relacionadas con la atrofia muscular y las modificaciones sensoriales debidas a la microgravedad afectaban a la corteza cerebral.

Analizamos, pues, el área cortical correspondiente a la representación de las patas traseras (área HL, del inglés "hindlimb") durante el desarrollo. Esta área guarda relación directa con el procesamiento de información somatosensorial y la función motora, las modificaciones del tono muscular y la actividad refleja sensorio-motora. Se comparaban luego los resultados obtenidos con las ratas que estuvieron en el espacio con los datos aportados por las mediciones en las ratas controles que permanecieron en tierra.

¿Por qué ratas de 14 días? Se trataba de estudiar el desarrollo postnatal de los circuitos sinápticos que se corresponde con el proceso de maduración de las conexiones. Afortunadamente, en la rata esto ocurre durante las 4 primeras semanas postnatales, por lo que constituye un modelo ideal para investigar el proceso en cuestión. En el hombre no se conoce con exactitud el período de maduración postnatal sináptica, si bien se sabe que se produce a lo largo de muchos años, terminando probablemente durante la adolescencia. De este modo, 16 días de vuelo espacial no representan quizá demasiado tiempo para el desarrollo del cerebro humano, mas para una rata equivale a pasar la mitad de su tiempo de maduración.

Con las ratas de 14 días, viajó en la nave otro grupo más joven, de sólo siete días. Sin embargo, a partir del séptimo día de vuelo murieron la mayoría de





DE FELIPE Y COLS., *Cerebral Cortex*, vol. 12, pags. 884-891; 2002

éstas; las pocas que sobrevivieron presentaban un aspecto muy poco saludable, probablemente debido a problemas nutricionales. Descartamos de nuestro trabajo la colonia de ratas más jóvenes.

Sus compañeras de 14 días de edad sí soportaron muy bien el vuelo espacial. El informe dictado por los veterinarios de la NASA que las revisaron en el momento de aterrizar indicaba que gozaban de buena salud, con la excepción de las patas traseras: estas extremidades mostraban una atrofia muscular, por lo que caminaban arrastrándolas parcialmente. No se encontraron diferencias significativas en el peso corporal entre las ratas ESP (media  $\pm$  error estándar de la media,  $97,9 \pm 3,2$  g) y las ratas NOR ( $103,7 \pm 3,2$  g). De ello se infiere que se alimentaron con regularidad durante los días de vuelo, sin experimentar trastornos nutricionales.

Ciertos estudios precedentes, llevados a cabo por científicos soviéticos en ratas que volaron 7 y 14 días en naves espaciales, sugerían que había un aumento

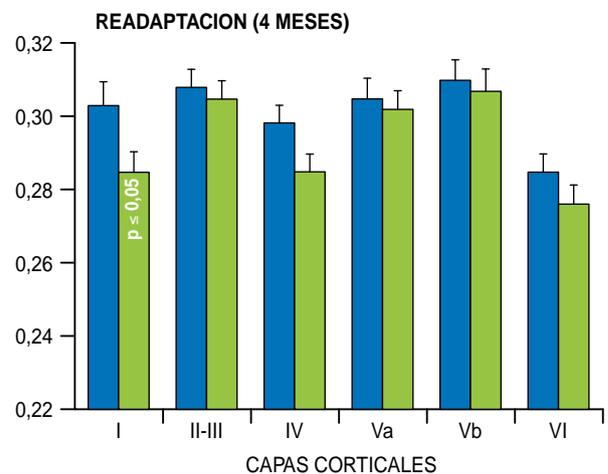
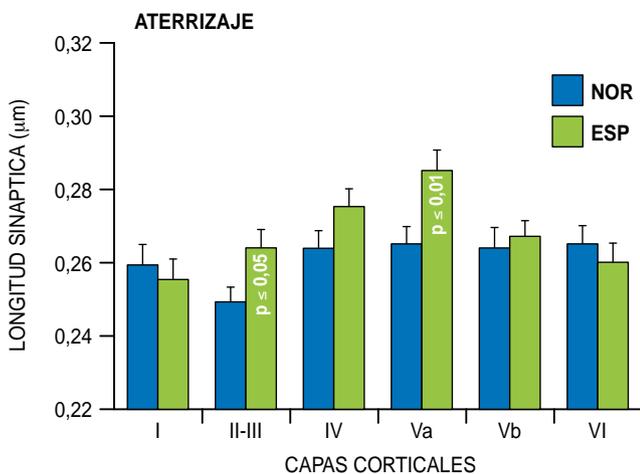
**7. ULTRAESTRUCTURA** de la corteza cerebral (capa II/III) de una rata normal control (*izquierda*) y de una rata que se desarrolló en el espacio (*derecha*). No se advierten cambios morfológicos.

de la densidad de espinas dendríticas en las células piramidales de la corteza sensorio-motora; expresado con otras palabras: la morfología de estas neuronas podría estar modificada tras un vuelo espacial. Pero los soviéticos no examinaron la ultraestructura cerebral para determinar si había o no cambios en el tamaño y número de las sinapsis. Carecíamos, pues, de datos sobre el efecto de los vuelos espaciales en las conexiones sinápticas. Tampoco analizaron si los cambios observados eran transitorios o permanentes.

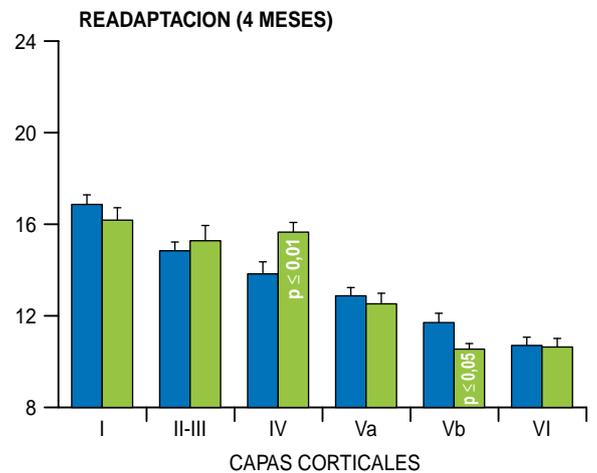
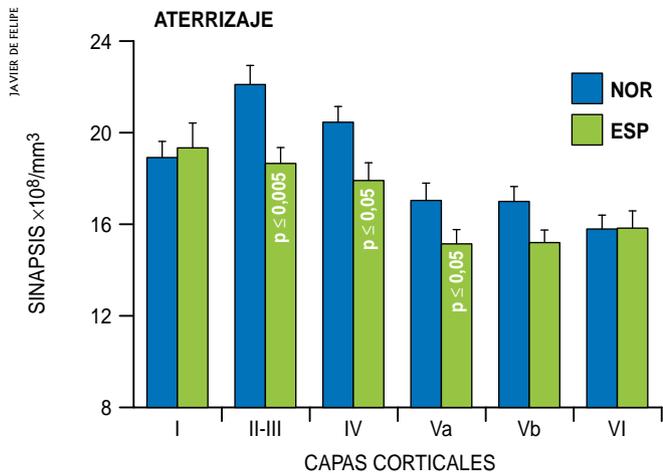
Así las cosas, decidimos abordar cualitativa y cuantitativamente la microanatomía del área HL de la corteza sensorio-motora. Comenzamos por elaborar un método de correlación de microscopía óptica y electrónica, que nos sirviera para investigar con precisión cada una de las capas corticales (I, II/III, IV, Va, Vb y VI). Además, aplicamos métodos estereológicos para examinar posibles cambios morfológicos de las sinapsis y determinar el número de sinapsis por volumen.

Puesto que se ha observado que la longitud de los contactos sinápticos puede

**8. HISTOGRAMA PARA MOSTRAR** las diferencias encontradas en la longitud sináptica de las sinapsis asimétricas entre ratas normales (NOR) y ratas que se desarrollaron en el espacio (ESP), en el momento del aterrizaje y después de 4 meses de readaptación a la gravedad terrestre. Las barras representan los errores estándar de la media.



JAVIER DE FELIPE



**9. DIFERENCIAS ENCONTRADAS** en la densidad de sinapsis (número de sinapsis por milímetro cúbico) entre ratas normales (NOR) y ratas que se desarrollaron en el espacio (ESP), en el momento del aterrizaje y después de 4 meses de readaptación a la gravedad terrestre. Las barras representan los errores estándar de la media. En las ratas ESP la densidad es significativamente menor en las capas II/III, IV y Va; la diferencia más acusada se encontró en la capa II/III, donde había 344 millones de sinapsis menos por milímetro cúbico, una disminución del 15%. Sin embargo, después del período de readaptación se apreciaron diferencias importantes en las capas IV y Vb de las ratas ESP, con un incremento de 184 millones de sinapsis por mm<sup>3</sup> y una disminución de 120 millones de sinapsis por mm<sup>3</sup>, respectivamente.

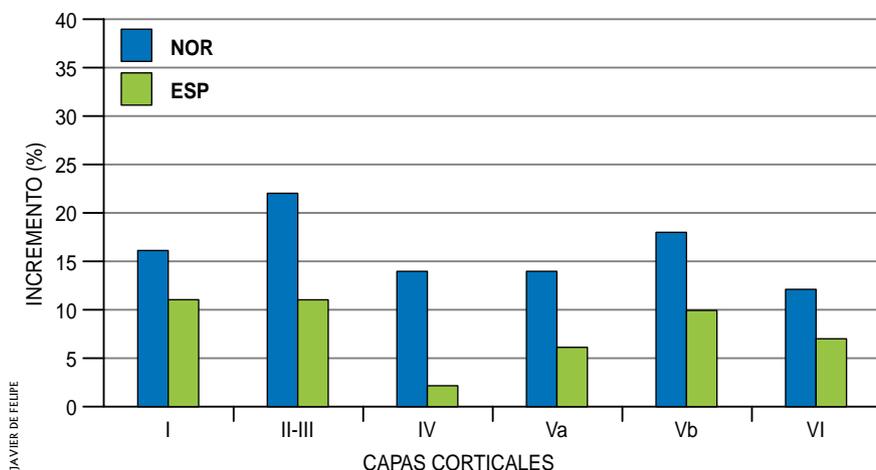
aumentar o disminuir de tamaño en respuesta a ciertas condiciones patológicas y durante procesos de aprendizaje, nos centramos primero en averiguar si el vuelo espacial afectaba a la longitud de dichos contactos; a continuación, estudiamos los posibles cambios en el número de sinapsis. En total, hemos examinado 11 ratas ESP y las correspondientes 11 ratas NOR. Las ratas ESP fueron sacrificadas en dos turnos: 4-5 horas después del aterrizaje (n = 5) y aproximadamente 4 meses después (n = 6). Pudimos, así, analizar el efecto “agudo” del vuelo espa-

cial y la readaptación a la gravedad terrestre para determinar si los efectos del vuelo espacial eran permanentes o efímeros.

Los datos de microscopía óptica no evidenciaban ninguna diferencia aparente entre la corteza cerebral de ratas NOR y ratas ESP. Sin embargo, el estudio con el microscopio electrónico de un gran número de sinapsis (19.164 sinapsis en total) reveló que, en las ratas ESP, los contactos sinápticos de tipo asimétrico (sinapsis excitadoras) eran significativamente más largos que en las ratas NOR en ciertas capas corticales.

Tales diferencias desaparecieron durante el período de recuperación. Pero se manifestó un nuevo cambio: las sinapsis asimétricas de la capa I eran más cortas en las ratas ESP. No detectamos cambios significativos con respecto a las sinapsis simétricas (inhibidoras), ni en el momento de aterrizar ni después del período de readaptación. Al analizar la densidad de sinapsis por unidad de volumen cortical, observamos que en las ratas ESP la densidad era significativamente menor en las capas II/III, IV y Va. La diferencia más destacada apareció en la capa II/III, en donde había 344 millones de sinapsis menos por milímetro cúbico, una disminución del 15,6%. Sin embargo, después del período de readaptación, se encontraron diferencias significativas en las capas IV y Vb de las ratas ESP (incremento de 184 millones de sinapsis/mm<sup>3</sup> y disminución de 120 millones de sinapsis/mm<sup>3</sup>, respectivamente). Por otra parte, estos cambios sólo afectaban a las sinapsis excitadoras.

Para conocer qué ocurría con las conexiones sinápticas durante el desarrollo tardío y la vida adulta, examinamos los posibles cambios experimentados por la corteza de las ratas NOR y ESP entre los meses 1 y 5 de edad. Durante este período, en las ratas NOR se produjo un aumento significativo en las longitudes de los contactos sinápticos en todas las capas corticales. En las ratas ESP también advertimos un incremento significativo en todas las capas, excepto en la



**10. DIFERENCIAS EN EL INCREMENTO** de las longitudes de los contactos sinápticos durante los meses 1 al 5 de edad entre ratas normales (NOR) y ratas que se desarrollaron en el espacio (ESP).

**II. DIFERENCIAS ENCONTRADAS** en la disminución de la densidad de sinapsis (número de sinapsis por milímetro cúbico) durante los meses 1 al 5 de edad entre ratas normales (NOR) y ratas que se desarrollaron en el espacio (ESP).

capa IV, que no registró cambios de importancia y donde, además, el incremento fue menos notable.

Con respecto a los cambios en la densidad de sinapsis se apreció una disminución significativa en todas las capas corticales de ambos grupos de animales. Las diferencias resultaban muy notables en la capa IV y en la capa II/III.

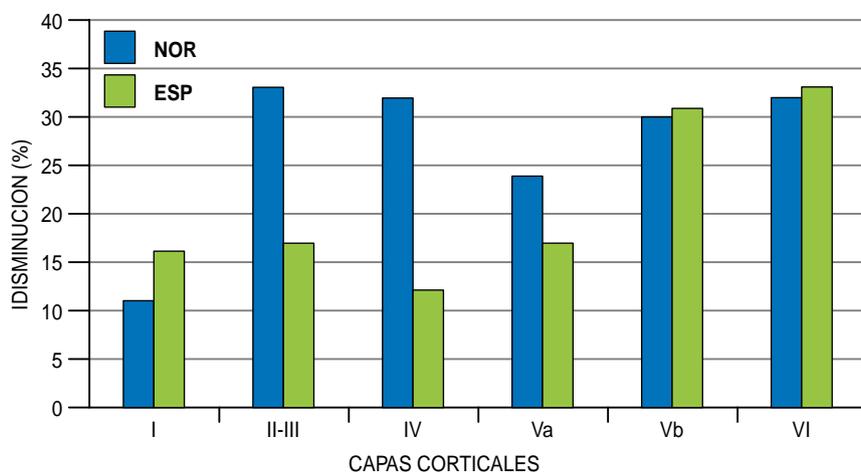
### Repercusión funcional de las modificaciones en los circuitos

El tamaño de las sinapsis parece ser un factor importante en sus propiedades funcionales. Puesto que los contactos sinápticos más extensos tienen un mayor número de receptores postsinápticos, los cambios operados después del vuelo espacial en el tamaño y densidad de las sinapsis reflejan, probablemente, alteraciones funcionales de los circuitos corticales afectados.

La disminución en la densidad de sinapsis y aumento del tamaño de los contactos sinápticos, que tiene lugar entre los meses 1 y 5 de edad, se deben quizás a la pérdida de sinapsis y a los cambios morfológicos normales que ocurren durante la pubertad y a lo largo de la vida adulta. Dado que estos dos procesos están menos acentuados tras el vuelo espacial, hemos de deducir que los mecanismos postnatales de modificación y eliminación de sinapsis se hallan alterados.

Todavía no sabemos a qué obedecen dichas alteraciones. Ignoramos también si son patológicas o si representan cambios plásticos para una mejor adaptación a un nuevo ambiente. La plasticidad sináptica de la corteza cerebral se manifiesta en neoformación de sinapsis y pérdida de sinapsis y en los cambios en la ultraestructura de las mismas; esa capacidad adaptativa se asocia con diversos factores, que van del aprendizaje de tareas motoras hasta la recuperación de lesiones corticales, pasando por la exposición a entornos complejos.

Por tanto, los cambios experimentados en los circuitos corticales durante el vuelo espacial podrían deberse a la alteración de la información aferente que alcanza a la corteza sensorio-motora, aunque también podrían resultar de la



exposición a un medio “enriquecido” o más complejo, ya que las ratas se mueven en tres dimensiones (“vuelan”) en vez de las dos habituales en la Tierra.

Cabe, asimismo, la posibilidad de que los ajustes hormonales, fisiológicos o ambos que ocurren durante los vuelos espaciales influyan en las alteraciones de los circuitos sinápticos. De hecho, las mismas ratas que fueron analizadas por nosotros, fueron estudiadas por el laboratorio de Luis Miguel García-Segura, del Instituto Cajal. Estos científicos encontraron alteraciones estructurales y neuroquímicas (algunas de ellas permanentes) en el núcleo supraóptico del hipotálamo, región del cerebro que se encarga de la producción de hormonas implicadas en la regulación de varias funciones básicas del organismo. De este modo, los vuelos espaciales pueden afectar al sistema neuroendocrino como consecuencia de la modificación de las neuronas hipotalámicas.

Debe proseguirse en esta línea de investigación para averiguar si los cambios corticales son más prominentes durante ciertos períodos críticos del desarrollo o si también ocurren en la corteza cerebral madura. Además, los cambios observados se indujeron tras un vuelo espacial de una duración relativamente corta; probablemente, unos períodos de estancia más largos en el espacio inducirían cambios mucho más significativos en los circuitos corticales.

Puesto que la neocorteza es el sitio en donde se localizan las funciones cerebrales superiores, creemos que la plasticidad sináptica inducida tras el vuelo espacial es un factor de suma relevancia para los futuros vuelos espaciales humanos de larga duración o para el establecimiento de colonias permanentes. Si nos dejamos llevar por la imaginación, podríamos suponer que, a medida que en los milenios

venideros nos vayamos diseminando por el universo, nuestra especie *Homo sapiens sapiens* se iría transformando, en esos mundos extraterrestres, en otra subespecie, la *Homo sapiens spatii*.

JAVIER de FELIPE, adscrito al Instituto Cajal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, dirige desde 1989 un grupo de trabajo cuyo principal objetivo es el estudio neuroquímico y microanatómico de la corteza cerebral humana.

#### Bibliografía complementaria

SYNAPTIC DEVELOPMENT OF THE CEREBRAL CORTEX: IMPLICATIONS FOR LEARNING, MEMORY, AND MENTAL ILLNESS. P. Rakic, J.-P. Bourgeois y P. S. Goldman-Rakic en *Progress in Brain Research*, vol. 104, págs. 227-243; 1994.

PSYCHIATRIC ISSUES AFFECTING LONG DURATION SPACE MISSIONS. N. Kanas en *Aviation, Space and Environmental Medicine*, volumen 69, págs. 1211-1215; 1998.

SPACE FLIGHT AFFECTS MAGNOCELLULAR SUPRAOPTIC NEURONS OF YOUNG PREPUBERAL RATS: TRANSIENT AND PERMANENT EFFECTS. D. García-Ovejero, J. L. Trejo, I. Ciriza, K. D. Walton y L. M. García-Segura en *Developmental Brain Research*, vol. 130, páginas 191-205; 2001.

HUMANS IN SPACE. R. J. White y M. Averner en *Nature*, vol. 409, págs. 1115-1118; 2001.

CORTICAL INTERNEURONS: FROM CAJAL TO 2001. J. de Felipe en *Progress in Brain Research*, vol. 136, págs. 215-238; 2002.

SPACEFLIGHT INDUCES CHANGES IN THE SYNAPTIC CIRCUITRY OF THE POSTNATAL DEVELOPING NEOCORTEX. J. de Felipe, J. I. Arellano, A. Merchán-Pérez, M. C. González-Albo, K. Walton y R. Llinás en *Cerebral Cortex*, vol. 12, págs. 883-891; 2002.

# De la trepanación a la teoría de la neurona

Hasta llegar al momento fascinante que viven las neurociencias contemporáneas el hombre recorrió un largo camino de tanteos e hipótesis cuyos primeros pasos se dieron en tiempos prehistóricos

Robert-Benjamin Illing

**¿**Qué pudo haber movido al *Homo sapiens* a ocuparse del interior de su cabeza? Los primeros testimonios que documentan este interés son sorprendentemente antiguos: tienen alrededor de 7000 años. Algunos cráneos procedentes de tumbas de la temprana Edad de Piedra muestran orificios provocados de intento: la resección de un trozo discoidal de hueso de la caja. Hubo trepanaciones hasta los tiempos modernos; presumiblemente, aunque en diferente medida, en todos los continentes. Su práctica estuvo extendida en muchas culturas de la Edad de Piedra, pero no gozó de igual difusión ni en las civilizaciones principales de la Antigüedad clásica ni en la Europa medieval.

La situación de las aberturas realizadas en estas operaciones no sigue ninguna regla estable, su diámetro varía entre uno y alrededor de cinco centímetros y, además, algunos de los cráneos conservados muestran varios agujeros. Algunos pacientes deben de haber sobrevivido a la intervención muchos años, dado que los bordes óseos están cicatrizados y,

de forma sorprendente, muchas trepanaciones, más de los dos tercios, cicatrizaron visiblemente bien. Un cierto número de operaciones guarda también relación con heridas craneales, pero no son, ni con mucho, la mayoría. Así, de la misma forma que determinados pueblos primitivos que han venido practicando la trepanación hasta los tiempos modernos, los hombres prehistóricos y de la Edad de Piedra creyeron probablemente en la existencia de unas causas sobrenaturales de la enfermedad, a las que personificaban como “demonios”. Mediante esos agujeros craneales se buscaba liberar al alma de malos espíritus, presuntos causantes de los vértigos recurrentes, de las convulsiones o de los ataques epilépticos o histéricos.

Por otro lado, numerosas culturas con niveles de desarrollo muy dispares han compartido la creencia en la existencia de un alma inmortal. En ese marco hemos de entender las circunstancias de los enterramientos y el equipamiento con que se dotaba a los muertos. Muy posiblemente ocurrió algo similar con los propios neandertales, extinguidos hace unos 27.000 años, quienes, al menos en algunos casos, incluían en las tumbas

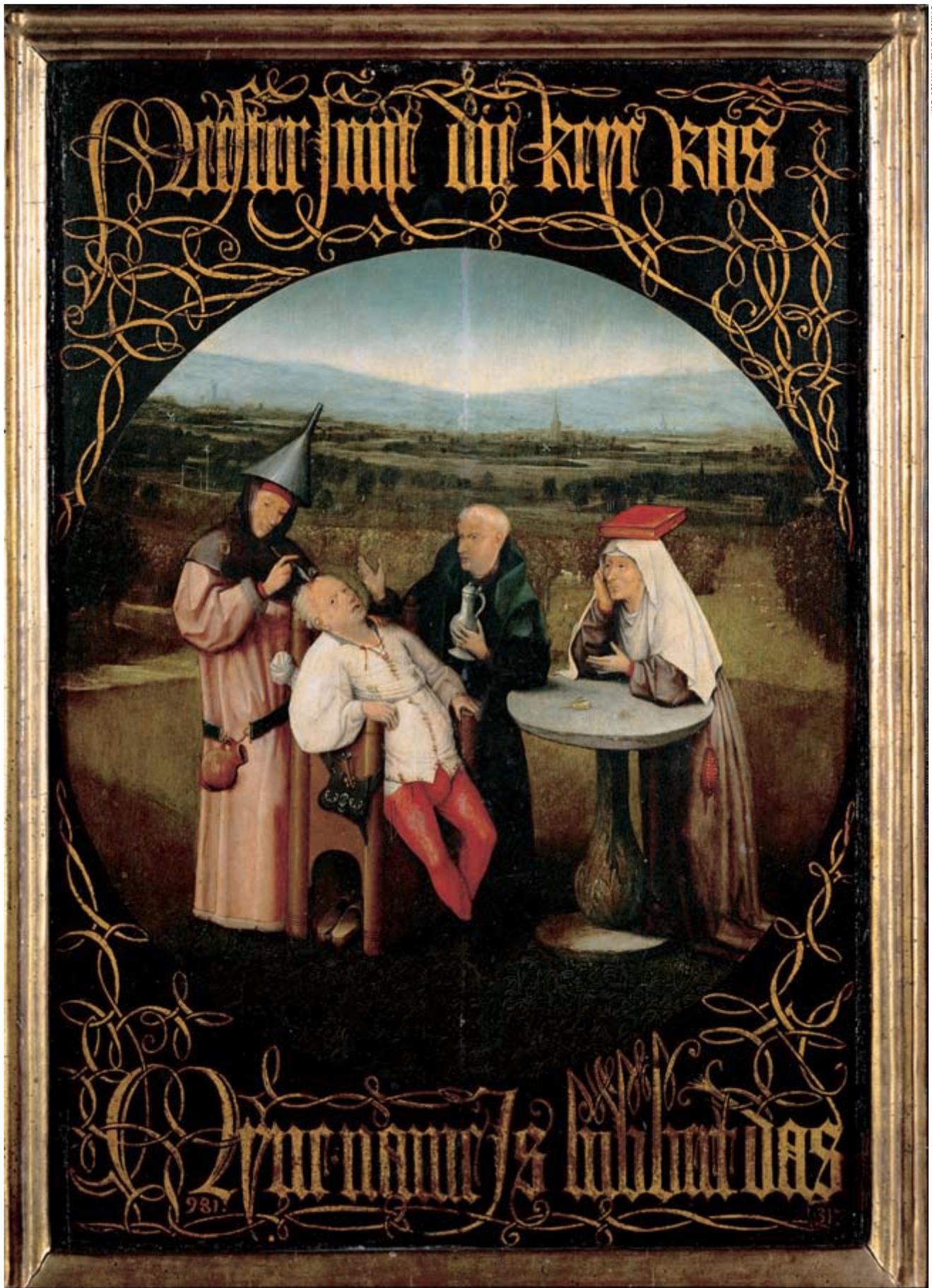
aditamentos que les sirvieran de ayuda para la vida del más allá.

Pese a la precocidad y notable extensión de la práctica de las trepanaciones, todo indica que a los filósofos y los médicos de la prehistoria y de la protohistoria les resultó menos tangible la significación del cerebro y del sistema nervioso que la de otros órganos internos. En la Biblia y en el Talmud encontramos observaciones médicas genuinas, pero ni una sola alusión que guarde relación con alguna afección del cerebro, de la médula espinal o de los nervios.

Los embalsamadores de los faraones y sacerdotes egipcios trataban con el mayor de los esmeros el hígado y el corazón; sin embargo, extraían el cerebro

## 1. EXTIRPAR LA LOCURA.

“La extracción de la piedra de la locura” de Jerónimo Bosch, el Bosco (1450-1516), muestra la extirpación de una “piedra de la locura”, operación muy extendida en la Edad Media; según las creencias de la época, se curaba así la enfermedad mental.





**2. UN CRATER EN EL CRANEO.** Este cráneo humano procedente del mesolítico se encontró en el yacimiento danés de Stengnav cerca de Naes. Los bordes del orificio están completamente cicatrizados, prueba inequívoca de que el paciente sobrevivió a la operación durante años.

lesiones de las cubiertas cerebrales. Con todo, como la práctica del embalsamamiento pone de manifiesto, todas estas observaciones no condujeron a una correcta valoración del funcionamiento del cerebro.

### El deseo en el hígado, la inteligencia en el cerebro

En las culturas antiguas de Egipto y de Grecia correspondía al corazón la primacía entre los órganos. Aristóteles (384-322 a.C.) aducía sólidas razones:

- Una herida en el corazón conlleva la muerte inmediata, mientras que una herida cerebral acarrea, en la mayoría de los casos, consecuencias menos drásticas y puede incluso curarse por completo.
- Los cambios en el latido cardíaco se acompañan inequívocamente de modificaciones en el estado de ánimo. El cerebro, sin embargo, da la impresión de ser insensible, pues al tocarlo en un animal vivo no se despierta ningún tipo de reacción.

Por tanto, el movimiento del corazón parecía ser prácticamente equivalente a la vida misma. No obstante, sólo el alma, esa imperecedera fuerza vital y formativa, tenía la potestad de dispensar la vida al organismo.

En contraposición con el Estagirita, Pitágoras (*ca.* 570-496 a.C.) e Hipócrates (*ca.* 460-370 a.C.), griegos como él, vieron en el cerebro la parte “más noble” del cuerpo humano. Opinión compartida por Platón (427-347 a.C.). Distinguía éste tres partes en el alma. Relacionó cada una de ellas y sus respectivas potencias con un órgano determinado: las pasiones más bajas, como el deseo y la codicia, pertenecían al hígado; las superiores —por ejemplo, el orgullo, el valor, la furia o el miedo— al corazón. Pero el entendimiento competía al cerebro en exclusiva.

Galeno (*ca.* 130-200 d.C.), anatomista oriundo de Pérgamo, rebatió la doctrina aristotélica. Le incomodaba una afirmación en particular: la de que ni los ojos ni los oídos guardaban relación alguna con el cerebro. Los nervios óptico y auditivo, descubiertos por el propio Galeno, probaban justamente lo contrario. Nues-

con varillas y cucharillas a través de la nariz y de las orejas. El primer apunte conocido sobre el cerebro se encuentra en el papiro Smith, llamado así en recuerdo de su descubridor, el egiptólogo norteamericano Edwin Smith (1822-1906). Este papiro egipcio procede de mediados del siglo XVI a.C., pero con toda probabilidad se trata de una copia de otro documento mucho más antiguo, cuyo autor fue posiblemente el arquitecto y

médico Imhotep, que vivió alrededor del 2600 a.C. El papiro Smith describe, entre otras cosas, el diagnóstico, tratamiento y pronóstico de una serie de pacientes con heridas en la cabeza. Expone con sobriedad y orden sistemático los fenómenos acaecidos en los enfermos. Tras explicar las heridas abiertas sin fractura ósea, aborda las afecciones con fracturas craneales netas o conminutas, para considerar, por fin, algunos casos de

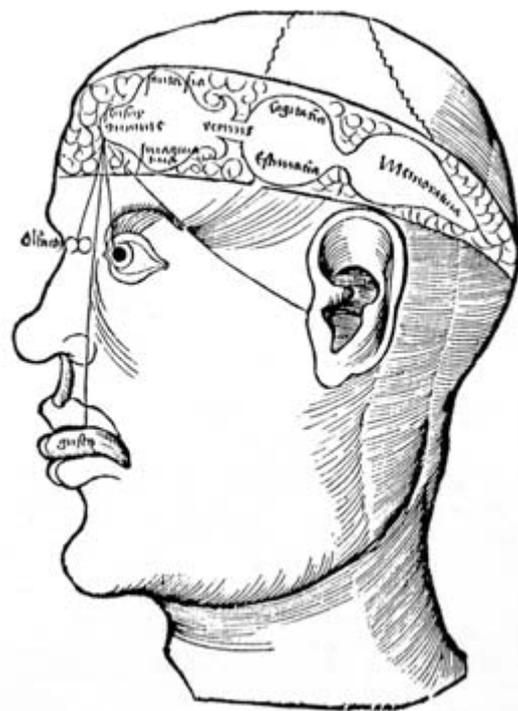
tro médico observó que, tras un ataque apoplético, los sujetos podían perder la facultad perceptiva, aun cuando los órganos de los sentidos correspondientes no hubieran sufrido ninguna alteración. Demostrábase así que el cerebro era el órgano central de la percepción. Galeno quedó especialmente impresionado cuando observó los ventrículos cerebrales. Estas cavidades aparecían vacías en sus experimentos; pensaba que sólo contenían algo cuya naturaleza semejaba la del aire. Pero cuando Galeno oprimía el ventrículo posterior del cerebro puesto al descubierto de un animal vivo, éste caía en un estado de rigidez y de profundo aletargamiento. Si llevaba a cabo una escisión profunda en ese ventrículo, el animal no se recuperaba ya de la rigidez. Si sólo realizaba una escisión superficial de la cubierta ventricular, el animal parpadeaba. Si oprimía ahora sobre uno de los ventrículos anteriores, el parpadeo cesaba y el ojo del lado oprimido recordaba al de un ciego. De todo ello infirió que las lesiones cerebrales sólo afectaban la capacidad de percepción y de movimiento cuando concernían a los ventrículos. Además, debía de existir una especial relación entre las cavidades del tejido cerebral y el alma; en efecto, por un lado, los ventrículos eran estructuras importantes del cerebro que tenían una conexión directa con los órganos de los sentidos y, por otro, su contenido presumiblemente aéreo, dada su carencia de sustancia, no podía por menos que estar más próximo al alma que el tejido cerebral. El contenido ventricular quedó asimilado al *pneuma*, concebido por la filosofía griega como hálito, emanado del cosmos y mediador entre el cuerpo y el alma.

### El cerebro, una especie de pozo romano

Galeno también creyó ver que tanto los nervios que partían del cerebro como los que allí llegaban iban a parar a los ventrículos. El presocrático Alcmeón de Crotona (ca. 570-500 a.C.) había postulado ya que los nervios estaban huecos. En concordancia con ello, Galeno observó que el nervio óptico parecía efectivamente hueco, pues por su centro transcurría a menudo un vaso sanguíneo. Surgió así la idea de que los nervios, lo mismo que los vasos sanguíneos, constituían una suerte de sistema canalicular. Lo cual hizo al de Pérgamo suponer, a su vez, que los movimientos de los músculos y las expresiones de las emociones anímicas en los animales y en el hombre partían de los ventrículos, a cuyo volátil contenido dio el nombre de es-

### 3. UNO DESPUES DE OTRO.

Según la doctrina de las cámaras, desde la lengua, la nariz, los ojos y los oídos se dirigirían una serie de conexiones a la primera cámara (ventrículo), que era la sede del sentido común (*sensus communis*), de la facultad de percepción (*fantasia*) y de la facultad de representación (*vis imaginativa*). En la segunda cámara se alojarían la facultad del pensamiento (*vis cogitativa*) y la facultad del juicio (*vis estimativa*). En la tercera y más posterior de las cámaras se encontraría la facultad retentiva (*vis memorativa*). (Tomado de Gregor Reisch: *Margarita philosophica*. Basilea, 1517.)



píritu vital (*spiritus animalis*). Desde entonces, y durante siglos, la concepción galénica de la existencia y el efecto del *spiritus animalis* en el organismo vivo estuvo vigente como doctrina irrefutable.

Con pausada lentitud se fue completando la teoría galénica merced a las contribuciones de épocas posteriores. En la Edad Media se designaron también los ventrículos galénicos con el nombre de cámaras; se les asignaron diferentes funciones. Al ventrículo anterior le incumbía la percepción, al segundo (o medio) le correspondía el pensamiento y al posterior, la memoria. A partir de aquí, mediante el flujo del *spiritus animalis* de delante hacia atrás, quedó pergeñada una secuencia plausible de los fenómenos anímicos. En ese marco teórico se desarrolla la doctrina de las cámaras.

Los médicos de la época ilustraron el modelo cameral con la imagen de un pozo romano. De la misma manera que el agua fluye allí de pileta en pileta, adoptando con ello nuevas formas, el *spiritus animalis* discurriría a través de los ventrículos cambiando su cualidad con el tránsito de uno a otro. Tal fue presumiblemente el primer bosquejo, todavía muy vacilante, de un modelo de la función cerebral.

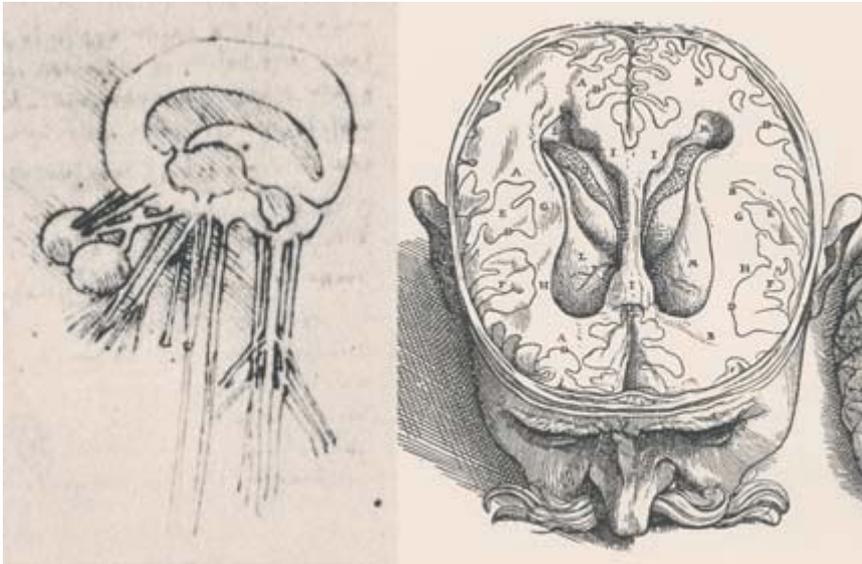
La doctrina cameral fue desarrollada ulteriormente durante la Baja Edad Media. El número de cámaras se multiplicó. Algunos dibujos muestran diez e incluso más ventrículos. Con el transcurso del tiempo se diferenciaron distintas cualidades mentales y se otorgó a cada una

de ellas una localización específica dentro de las cavidades cerebrales. Por el contrario, las investigaciones experimentales de los órganos cerebrales y sus ventrículos apenas despertaron algún interés. La doctrina cristiana dominante por doquier veía en el cuerpo humano un receptáculo pasajero del alma inmortal; durante largo tiempo estuvo prohibida la investigación anatómica en el hombre.

Con el Renacimiento se suscitó un renovado interés por el cuerpo humano, cuyo origen se halla en el arte elaborado en la península itálica. Leonardo da Vinci (1452-1519) y Miguel Ángel (1475-1564), sobre todo, intentaron adquirir un mejor conocimiento del cuerpo humano mirando en su interior. Leonardo realizó, de hecho, el primer dibujo realista que conocemos de los ventrículos cerebrales. A mediados del siglo XVI, el anatomista belga Andrés Vesalio (1514-1564) dio nuevo esplendor a la ciencia anatómica. Llevó a cabo numerosas disecciones públicas en los anfiteatros, poniendo sumo cuidado en la minuciosa preparación y presentación del cerebro. Mantuvo, sin embargo, una actitud reservada en relación con las especulaciones al uso sobre su funcionamiento.

### El espíritu, ese sutil soplo de viento

René Descartes (1596-1650) dejó de lado tales reservas. El matemático y filósofo francés se esforzó por comprender el funcionamiento de los nervios y afirmó



**4. PRIMERAS REPRESENTACIONES** anatómicamente correctas de los ventrículos cerebrales, una dibujada por Leonardo da Vinci (a la izquierda, representados en sección lateral, conjuntamente con los globos oculares y los nervios cerebrales, ca. 1504) y otra por Andrés Vesalio (a la derecha, en sección frontal superior, 1543).

que las partes visibles del cerebro no tenían nada que ver con su forma de operar. Su doctrina se basó también sobre la aceptación de un *spiritus animalis* circulante, así como en la observación de las cavidades cerebrales y de los nervios supuestamente huecos.

Descartes conocía los novedosos estudios de su contemporáneo Galileo Galilei (1564-1642). Influenciado por ellos, formuló consecuentemente sus ideas en un contexto mecanicista, cambiando con ello de manera sustancial el carácter de la investigación sobre el cerebro. Concibió el *spiritus animalis* como un sutil soplo de viento que corría a través de los canalículos nerviosos o como unas llamas activas. Según Descartes, las corrientes de *spiritus animalis* vendrían desde los nervios sensitivos y se verterían en los ventrículos. Alcanzarían entonces un órgano central del cerebro, la glándula pineal, que se halla en ellos y está rodeada por el *spiritus animalis*. En la glándula pineal se concitarían, así, el cuerpo de naturaleza mecánica (*res extensa*) con el alma inmaterial e impercedera (*res cogitans*). Los impulsos volitivos del alma originarían, por su parte, una corriente de *spiritus animalis* en los ventrículos y en la glándula pineal que se dirigiría por los respectivos nervios motores hacia los músculos. Una serie de finos filamentos en el interior de los canalículos nerviosos actuarían a modo de válvulas, cuyo movimiento guiaría la corriente de *spiritus animalis*. De esta manera, según Descartes, sentimos, por ejemplo, el calor y nos apartamos de forma refleja cuando éste resulta excesivo.

Descartes tenía muy claro que un sistema mecanicista que pretendiera dar

cuenta del inmenso número de fenómenos sensoriales y motores de naturaleza tan dispar, había de ser complejo en extremo. La imagen del pozo romano no le parecía convincente y presentó un nuevo modelo de funcionamiento cerebral: el órgano. La caja de aire se correspondería con el corazón y las arterias, que, por vía sanguínea, llevaría el *spiritus animalis* a los ventrículos. El registro, con el que el organista decide por qué canales debe dirigirse el aire, equivaldría a las válvulas de los nervios, con cuya ayuda el *spiritus animalis* circula por los “tubos” apropiados. Y la música que sale de los tubos vendría a ser la conducta razonable y coordinada que desarrollamos cuando ponemos nuestros músculos en movimiento y actuamos. Este nuevo modelo de funcionamiento cerebral era genial, pues proponía, tanto para la música del órgano como para el sistema nervioso, un orden complejo y armónico de múltiples actividades individuales.

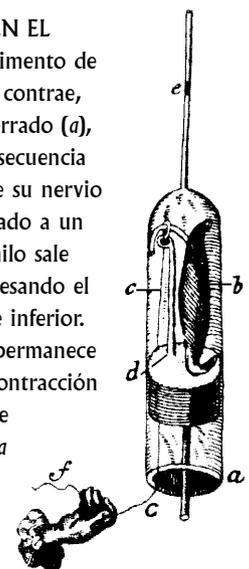
**Un experimento decisivo sobre el carácter líquido del espíritu vital**

Descartes ofreció una imagen mecanicista del flujo de *spiritus animalis* a través de los ventrículos y los nervios tan firme y precisa, que no resulta extraño que su teoría del funcionamiento nervioso se quisiera comprobar experimentalmente. En esa onda, Giovanni Borelli (1608-1679), médico y matemático, se propuso determinar si la materia que transitaba por el interior de los nervios hacia los músculos era volátil o líquida. Introdujo un animal vivo bajo el agua, que luchó lógicamente con todas sus fuerzas para no ahogarse. Con-

forme a la teoría, el *spiritus animalis* debía haber afluído copiosamente en los músculos estimulados. Tras algunos segundos, Borelli realizó una incisión en un músculo del animal muerto todavía sumergido. Pero, dado que no ascendió ninguna burbuja a la superficie del agua, concluyó que la naturaleza del espíritu vital era acuosa, no gaseosa: un *succus nerveus* (el “succo nérvico” de los textos españoles que recogieron la idea).

De acuerdo con la teoría cartesiana el *spiritus animalis* se bombeaba desde el cerebro hasta el músculo que se iba a contraer. Consecuentemente, el volumen muscular debía de aumentar en el momento de la contracción. El médico holandés Jan Swammerdam (1637-1680) colocó una preparación nervo-muscular en un recipiente cerrado; presentaba éste una parte superior en forma de fino tubo alargado en cuyo interior se encontraba suspendida una gota de agua. Tiraba entonces de un hilo de plata que atravesaba el cierre inferior del receptáculo y que acababa en el nervio, causando así que el músculo se contrajera. En el caso de que el músculo aumentara de tamaño al contraerse, la gota situada en la parte superior debería modificar su posición.

**5. EL MUSCULO EN EL TUBO.** En este experimento de Jan Swammerdam se contrae, en un receptáculo cerrado (a), el músculo (b) a consecuencia de la estimulación de su nervio mediante un tirón dado a un hilo de plata (c). El hilo sale del receptáculo atravesando el cierre (d) de su parte inferior. La gota de agua (e) permanece inmóvil durante la contracción muscular. (Tomado de J. Swammerdam, *Biblia naturae*. Leiden, 1738.)



Pero se quedó donde estaba. Este experimento, realizado antes del descubrimiento del principio de la conservación del volumen, debió de verse como una clara refutación de la teoría cartesiana.

Alexander Monro (1697-1767) intentó desvelar el movimiento del *spiritus animalis* con una serie de experimentos sucesivos. Este anatomista escocés realizó cortes transversales de los nervios, pero no encontró en ellos ninguna cavidad. Seccionó los nervios de animales vivos, sin ver salir ningún *succus nervus* del lugar de la incisión. Ligó los nervios a fin de provocar que el *spiritus animalis* que fluía por ellos se acumulara en el lado de la barrera más próximo al cerebro, ocasionando de paso una inflamación local de los nervios. Pero tampoco esto se verificó. A Monro le pareció muy improbable que un fluido nervioso de esta índole pudiera desplazarse por unos canales tan finos con la velocidad requerida para cumplir su cometido, en la hipótesis de que los nervios fueran huecos. De este problema se ocupó también Isaac Newton (1643-1727), quien sabía que un gas o un fluido no podían moverse con la rapidez necesaria a través de unos túbulos del calibre de los nervios. Por eso pensó que sería la vibración de los filamentos contenidos en los nervios lo que asumía la función del *spiritus*.

Los resultados a que se llegaba eran a todas luces contradictorios. Circularon informes que atestiguaban haber obtenido algo fluido de las secciones de los nervios. Se afirmó posteriormente que la carencia de inflamación en la ligadura nerviosa debíase a la carencia de actividad funcional de esos nervios por los que no fluía ya ninguna sustancia. El propio Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723) creyó haber visto en su microscopio que los nervios estaban realmente huecos. Fruto de esa general inquietud experimental, a mediados del siglo XVIII se había extendido una creciente curiosidad acerca de la cuestión básica: ¿cómo explicar, al menos en sus grandes líneas, la función del cerebro y de sus nervios?

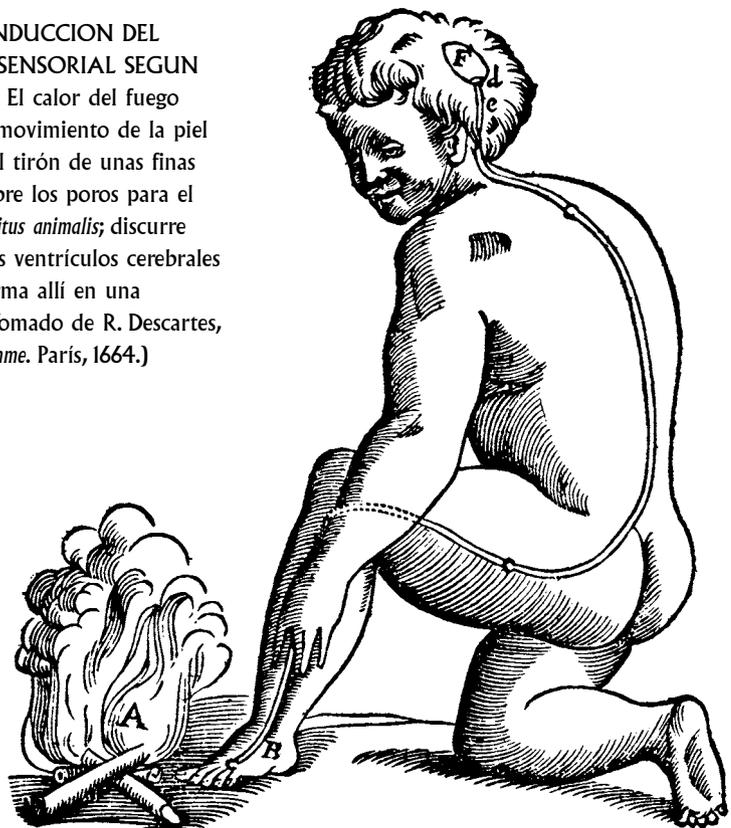
### La corriente del nervio ciático

Coincidió ese estado de ánimo con la aparición de un fenómeno del que todos hablaban, lo mismo en el laboratorio que en las ferias populares: la electricidad. No tardaron en avanzarse propuestas que identificaban la electricidad con ese medio que fluía por los nervios. Una tesis que no pudo imponerse en un principio debido a una razón de peso, a saber, la de que los nervios no parecían estar aislados. Al faltar tal aislamiento, en el

supuesto de que hubiera en el organismo una fuente eléctrica, la corriente se propagaría hacia cualquier lado y no necesariamente a lo largo de las vías nerviosas destinadas a dicho fin.

La discusión acerca del papel de los fenómenos eléctricos en el sistema nervioso recibió un impulso esencial gracias a Luigi Galvani (1737-1798). En una de sus legendarias preparaciones de ancas de rana, puso una banda de zinc al nervio ciático y conectó éste con el músculo mediante una abrazadera de plata. Siempre que cerraba el circuito y descargaba corriente, el músculo se contraía. Pero el hecho de que el nervio fuera excitable eléctricamente no probaba todavía que el *spiritus animalis* fuese lo mismo que la electricidad. Al fin y al cabo, los nervios también se pueden estimular mediante acciones mecánicas, como la empleada por Swammerdam, o químicas. Por eso Galvani no pudo rebatir la objeción que le hizo su compatriota Alessandro Volta (1745-1827): su experimento dejaba abierta la cuestión de la identidad entre la electricidad y el *spiritus animalis*. Sólo más adelante un colega de éste, Carlo Matteucci (1811-1868), pudo determinar las corrientes de un músculo mediante un aparato de medida dotado de suficiente sensibilidad.

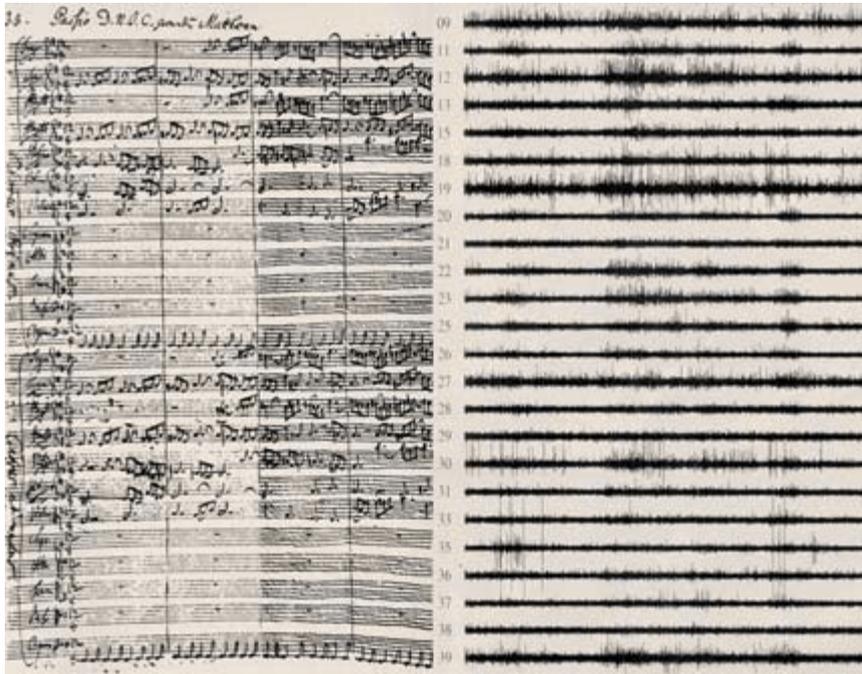
**6. LA CONDUCCION DEL ESTIMULO SENSORIAL SEGUN DESCARTES.** El calor del fuego provoca un movimiento de la piel y, con ello, el tirón de unas finas fibras que abre los poros para el paso del *spiritus animalis*; discurre éste hacia los ventrículos cerebrales y se transforma allí en una sensación. (Tomado de R. Descartes, *Traité de l'homme*. París, 1664.)



Hasta que, en 1843, Emil Du Bois-Reymond (1818-1916) describió, por fin, la corriente que recorre los nervios tras un estímulo eléctrico. Cuando el fisiólogo alemán observó en 1849 que dicha corriente se producía también mediante un estímulo químico, se obtuvo la prueba de que los nervios no eran meros conductores pasivos de la electricidad, sino que se mostraban también activos desde el punto de vista electromotor.

La imagen del nervio hueco pasó al archivo de la historia. El primer bosquejo del impulso eléctrico en una célula — hoy conocido como potencial de acción — lo pergeñaron en 1939 dos biofísicos ingleses, Alan Hodgkin y Andrew Huxley. El potencial de acción se reveló como una forma universal de señalización de las células nerviosas en todo el reino animal.

Ahora bien, dadas las limitaciones de los instrumentos de que se disponía alrededor de 1800, la cuestión sobre la composición y la estructura del tejido por el cual circulaban las corrientes nerviosas permaneció todavía sin dilucidar. El microscopio óptico adolecía por ese tiempo de importantes aberraciones. Bastaba un vistazo a través del microscopio para dejar convencidos a muchos científicos de entonces de que era algo completamente inservible. A lo largo



**7. NEURONAS Y MUSICA.** La comparación cartesiana de la música polifónica con el rendimiento del cerebro resultó extraordinariamente esclarecedora. De la misma manera que la música depende del acorde temporalmente preciso de las distintas voces (a la izquierda, intervalo de 1,5 segundos), de las actividades individuales de las células nerviosas (a la derecha, intervalo de 1,5 segundos) depende la percepción diferenciada y el comportamiento coordinado. (Hoja de partitura de “La Pasión según San Mateo” (1729) de Johann Sebastian Bach (1685-1750). Registro parcial de la actividad de 24 neuronas de la corteza cerebral: J. Krüger, Universidad de Friburgo.)

del siglo XIX se consiguió reducir las aberraciones de la óptica microscópica y el microscopio se convirtió en el instrumento imprescindible de la investigación neurobiológica, franqueándose una nueva vía de acceso a las permanentes cuestiones que habían venido preocupando a los científicos.

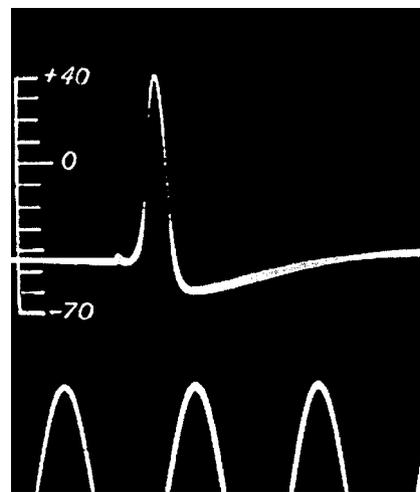
Un desarrollo semejante experimentaron las preparaciones microscópicas de las muestras tisulares. Los primeros pasos acertados para la fijación y tinción del tejido nervioso no se dieron hasta la segunda mitad del siglo XIX. Otto Deiters (1834-1863) fijó pequeñas muestras de tejido nervioso con ácido crómico y dicromato potásico. Con la ayuda de este tratamiento previo, el anatomista alemán pudo ver que del cuerpo de la célula nerviosa salían dos tipos de prolongaciones filamentosas: las “prolongaciones protoplásmicas”, hoy llamadas dendritas, y el “cilindroeje” o axón. Para este tipo de células, su compatriota y colega Wilhelm von Waldeyer-Hartz (1836-1921) propuso en 1891 el nombre de “neurona”. En tiempo de Deiters era imposible hacer visibles las finas terminaciones de las neuronas. Es cierto que, con anterioridad, Joseph von Gerlach (1820-1896) había ya introducido el carmín, el añil y el cloruro de oro como los primeros medios de tinción para la investigación del tejido nervioso. Pero en la imagen microscópica se seguían perdiendo las terminaciones del axón y de las dendritas en las partes vecinas del preparado tisular que no estaban teñidas. Quedaba así sin poderse aclarar la cuestión sobre

cómo se conectaban entre sí estas prolongaciones. En un principio, además, esta pregunta parecía no tener excesiva importancia, pues la hipótesis más simple y más probable era que las prolongaciones trenzaban una red compleja, un “retículo”. ¿Cómo podría imaginarse

de otra manera la propagación de las señales a través del tejido nervioso, independientemente de que se pensara en un *spiritus animalis* o en la corriente eléctrica como medio transmisor?

Mientras los científicos estaban concentrados en el conocimiento de la estructura del tejido nervioso, acaecieron una serie de progresos en la preparación de las muestras. Se produjo un avance espectacular cuando Camilo Golgi (1843-1926), en la década de los setenta del siglo XIX, descubrió la reacción negra, hoy denominada en su honor tinción de Golgi. A Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), observando al microscopio cortes cerebrales con esta tinción, le llamó la atención el hecho de que en determinadas regiones siempre aparecieran formas celulares semejantes. La regularidad y el aislamiento de dichas formas no casaban con la idea de una red continua en la que no debía existir ninguna separación natural entre las distintas células nerviosas. Ramón y Cajal hizo un segundo descubrimiento fundamental. Comprobó que en la parte terminal de los axones teñidos se formaban a menudo unos engrosamientos peculiares, los llamados botones terminales. De todo ello dedujo Cajal que no había ninguna red nerviosa continua, sino que cada célula nerviosa era un individuo con límites perfectamente definidos. La teoría neuronal había nacido.

Pese a que la cuestión de la transmisión de la excitación de neurona a neurona distaba todavía de estar aclarada, Ramón y Cajal se mantuvo en sus trece



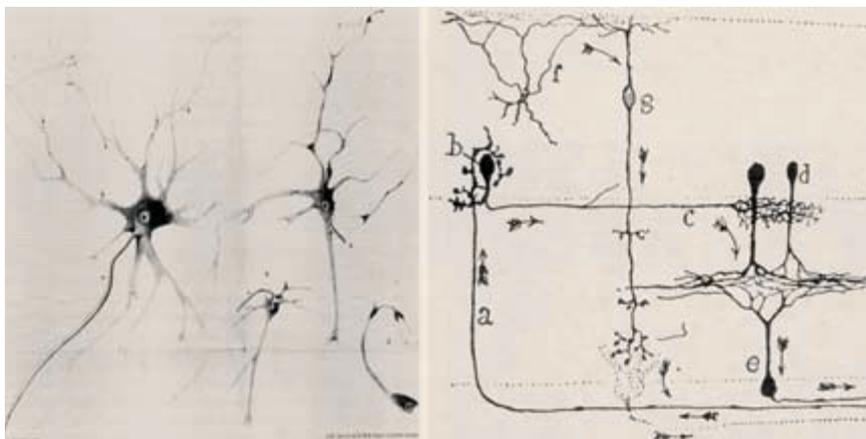
**8. EL PRIMER BOSQUEJO DE UN POTENCIAL DE ACCION INTRACELULAR.** A la izquierda se recoge la fluctuación del potencial en milivolt; abajo se encuentran los marcadores temporales separados siempre 2 milisegundos uno de otro. (Tomado de: A. Hodgkin, A. Huxley: Action potentials recorded from inside a nerve fiber. *Nature*, 144, 1939.)

## 9. LA IMAGEN DE LA IZQUIERDA

muestra células nerviosas aisladas procedentes de la sustancia gris de la médula espinal de un buey, donde se diferenciaron por primera vez las dendritas de los axones. (Tomado de O. Deiters: *Untersuchungen über Gehirn und Rückenmark des Menschen und der Säugetiere* [Investigaciones sobre el cerebro y la médula espinal del hombre y de los mamíferos]. Vieweg, Brunswick, 1865.) La ilustración a su derecho corresponde a un dibujo de Ramón y Cajal, en el que se representa la dirección seguida por las señales a través de los distintos tipos de neuronas de la retina de un ave. Las flechas indican la dirección del flujo de las señales, según suponía Ramón y Cajal. (Tomado de S. Ramón y Cajal: *Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*. Moya, Madrid, 1899-1904.)

en relación con la teoría neuronal. Completó muchos de sus dibujos de conexiones entre las células nerviosas realizados al microscopio con flechas que mostraban cómo, según su opinión, fluían las señales de una célula a otra. No podía concebirlo de otra manera, puesto que no se sospechaba que las células nerviosas podían ejercer diferentes efectos unas sobre otras. Aunque los experimentos de los hermanos Weber habían llamado la atención, ya a mediados del siglo XIX, sobre la existencia de efectos inhibidores en el sistema nervioso, el concepto de inhibición neuronal era por entonces todavía muy impreciso. Sería Charles Sherrington (1857-1952) quien, poco después de 1900, formulara definitivamente la idea de las células nerviosas inhibitoras y demostrara su existencia mediante métodos electrofisiológicos. En concordancia con el estado de las técnicas de las comunicaciones propias de su tiempo, el neurofisiólogo británico comparó el cerebro con una estación telegráfica. Ya en 1897 había dado el nombre de “sinapsis” al lugar de contacto entre células nerviosas. Sin embargo, hasta 1954, tras la introducción del microscopio electrónico, Sanford Palay y George Palade no pudieron corroborar experimentalmente que las neuronas eran individuos celulares con una estructura autónoma.

Pero la teoría neuronal seguía sin haber resuelto el problema del paso de las señales de una célula nerviosa a otra. ¿Cómo podía un impulso salvar la distancia entre dos neuronas? John Langley (1852-1925)



depositó nicotina con un pincel fino sobre un músculo de rana aislado; observó que la nicotina desencadenaba una contracción muscular si se aplicaba en la sinapsis entre el nervio y el músculo. En otros lugares de la fibra muscular la nicotina parecía no ejercer dicho efecto. Y Langley descubrió todavía algo más: el tratamiento previo con un tóxico nervioso, el curare, hacía, al músculo, insensible a la nicotina, pero no impedía que la estimulación eléctrica directa lo activara. Langley concluyó, de tales resultados, que la nicotina actuaba en la superficie de la fibra muscular reaccionando a este nivel con un receptor, el cual también podía ser ocupado por el curare. La idea de que unos receptores moleculares de la célula podían fijar determinadas sustancias resultó fundamental para la neurofarmacología moderna. Langley supuso, además, que la fibra nerviosa estimulada liberaba en la sinapsis una sustancia similar a la nicotina que era la responsable del efecto sobre el músculo. Al químico alemán Otto Loewi (1873-1961) le cupo finalmente lograr la comprobación experimental de que los nervios estimulados (en este caso el nervio vago del corazón) descargan una sustancia de la que depende el efecto nervioso. Henry Dale (1875-1968) descubrió que se trataba de un éster de la colina, la acetilcolina.

### Células nerviosas que aprenden

La tesis de una transmisión química del impulso nervioso, tanto entre las neuronas entre sí como de las células nerviosas a las musculares, fue aceptada muy tardíamente por los neurocientíficos y sólo tras la realización de una serie de observaciones básicas que vale la pena recordar. La primera, la de Bernhard Katz. Mostró que las terminaciones nerviosas liberaban sustancias indicadoras, los llamados neurotransmisores, en dependencia de la actividad eléctrica.

Estos transmisores moleculares se descargaban en paquetes. John Heuser y Thomas Reese comprobaron luego el mecanismo de constitución de tales “paquetes”: las vesículas de la terminación de las neuronas emisoras se contraían a consecuencia de la llegada de un potencial de acción a través de la membrana celular y pasaban su contenido, compuesto sobre todo por neurotransmisores, a la célula receptora. El que la “célula emisora” estimulara o inhibiera la “célula receptora” dependía del tipo de sustancia transmisora y de los receptores situados en la membrana de la célula postsináptica, a los cuales se fijaban los transmisores moleculares.

La comprobación de la existencia de sinapsis estimuladoras e inhibitoras alimentó la especulación acerca de la elaboración, por el sistema nervioso, de informaciones inteligentes siguiendo principios exactos y lógicos. Por otro lado, el psicólogo canadiense Donald Hebb (1904-1985) formuló en 1949 la hipótesis de que los lugares de contacto entre las células nerviosas podían cambiar en razón del tipo de actividad que ejercieran. Desde entonces, su hipótesis ha recibido múltiple confirmación experimental. La intensidad de la comunicación entre dos neuronas no queda determinada de una vez para siempre, sino que es modificable a través de la experiencia. Las células nerviosas pueden, pues, aprender. Una nueva hipótesis del funcionamiento cerebral, el modelo técnico, se deja ya entrever.

---

ROBERT-BENJAMIN ILLING comparte su interés por la historia de la ciencia con la docencia y el ejercicio de su especialidad neurológica en el Hospital Clínico Universitario de Friburgo.

## SYLLABUS

# ¿A qué llamamos memoria artificial?

Para explicar los misterios del cerebro los neurólogos teóricos utilizan modelos de neuronas y redes neuronales. Incluso estructuras muy sencillas pueden presentar memoria y capacidad de recuerdo

Christian W. Eurich y Stefan Wilke

**R**ecuerda qué ha desayunado esta mañana? ¿Podría detallar qué aspecto tenía su primera cartera escolar? A lo largo del tiempo nuestro cerebro va acumulando multitud de recuerdos. No parece, a primera vista, que se trate de una capacidad especial. El disco duro del ordenador, los discos DVD y otros sistemas técnicos de almacenamiento de datos tienen hoy unas capacidades de acopio y unas velocidades de ejecución incomparablemente mayores que las del cerebro.

Sin embargo, para determinadas tareas nuestra memoria sigue siendo muy superior a los sistemas técnicos. Por ejemplo, podemos leer sin gran fatiga distintos tipos de escritura y, por regla general, reconocemos caras familiares sin cometer graves errores. No solemos darnos cuenta de que el reconocimiento de estos patrones supone una función muy compleja que ni por asomo pueden realizar las máquinas.

¿Cómo realiza nuestro cerebro prestaciones memorísticas tan singulares? De acuerdo con la moderna neurología, los contenidos de la memoria se almacenan en redes neuronales del cerebro; desempeña un papel importante la solidez de las conexiones (sinapsis) entre las numerosas células nerviosas (neuronas). Cuando recordamos se activan algunas de estas células.

Resulta relativamente sencillo describir las funciones básicas de las neu-

ronas. Otra cosa son las relaciones entre unas y otras, que dan lugar a fenómenos sumamente complejos. En sus investigaciones teóricas los científicos desarrollan modelos matemáticos sencillos que reflejan las propiedades biológicas fundamentales de las células nerviosas. Asociando estos modelos a las redes neuronales se proponen entender mejor el proceso de almacenamiento de los recuerdos.

Un modelo “clásico” de neurona es la llamada neurona binaria (véase la figura 1). Lo mismo que en la célula nerviosa real, un impulso procedente del exterior puede activarla o inactivarla: la neurona binaria está en condiciones de adoptar dos estados: el “activado” o el “inactivado”.

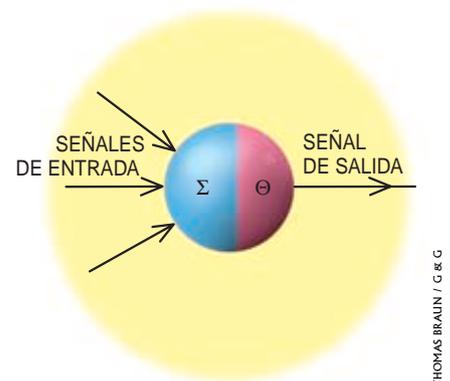
### Neurona pequeña, cálculo enorme

A partir de los datos procedentes de las otras neuronas de la red, cada neurona calcula si en el instante inmediato se hallará o no activa. Para ello, en primer lugar, se multiplica el valor de cada una de las señales de entrada por un número que indica la correspondiente “fuerza sináptica”. De esta forma se marca la potencia del estímulo procedente de la neurona emisora y, con ello, la fuerza sináptica del cerebro. Del mismo modo que en el sistema nervioso hay sinapsis estimuladoras y sinapsis inhibitoras, la “fuerza sináptica” puede ser positiva o negativa.

Luego, la neurona suma los resultados de todos estos productos, con lo que obtiene el estímulo total que recibe del

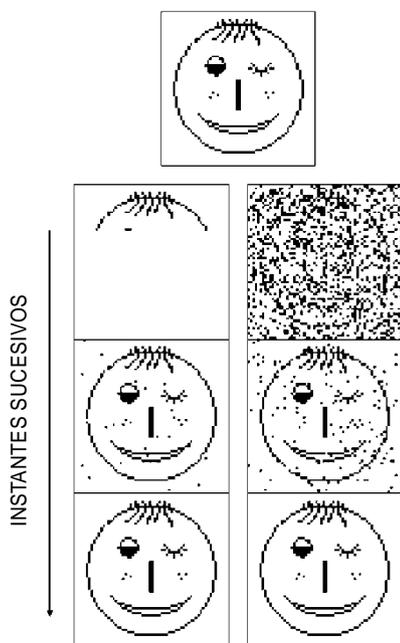
conjunto de neuronas que le emiten señales. Si este valor supera determinado umbral, se excita la neurona, es decir, se hallará activada en el instante inmediato. A su vez, esta activación puede operar como señal de estímulo para otras neuronas, que calcularán así su estado en los instantes siguientes.

Los primeros modelos de neuronas binarias se remontan a 1943. Los esbozaron Warren McCulloch (1898-1969), neurólogo, y Walter Pitts (1923-1969),



THOMAS BRAUN / G & G

**1. EN LA ENCRUCIJADA.** Un modelo de neurona multiplica todas las señales que le llegan (en este ejemplo tres impulsos) con la correspondiente fuerza sináptica. Todos estos impulsos se suman para estimular la neurona. Si se alcanza un determinado umbral de estímulo, la neurona se activa; por debajo de este umbral, la neurona permanece inactiva.



## 2. SONRISA RECORDADA.

En 4096 se cifra el número de neuronas enlazadas en una red de acuerdo con el modelo de actividad de una "figura sonriente" (en la parte superior). Los puntos negros corresponden a neuronas activas y los blancos a inactivas. Si la red neuronal recibe como impulso inicial un modelo incompleto (columna izquierda, arriba) o deformado (columna derecha, arriba) las neuronas van adquiriendo poco a poco el grado de actividad correspondiente al modelo almacenado: la red lo "recuerda".

matemático. En 1985 John Hopfield, físico de la Universidad de Princeton, demostró que una sencilla red de estas neuronas poseía realmente "memoria". En estas redes, llamadas en su honor "redes de Hopfield", cada neurona está conectada al resto. Si las neuronas se ordenan en forma de rectángulo puede representarse gráficamente el estado de la red (véase la figura 2).

En una de estas redes de Hopfield el investigador puede acuñar de antemano muchos modelos diferentes de las más diversas actividades neuronales, pues tiene en su mano determinar la fuerza sináptica entre neuronas individuales para cada modelo de actividad a almacenar. La norma a seguir y la conformación de la red para ello es la siguiente: cuando en un modelo de dos neuronas ambas se encuentran activadas o ambas inactivadas, la fuerza sináptica entre estas dos unidades es +1 dividido por el

número de neuronas de la red; cuando se "activa" sólo una de las dos células, la fuerza sináptica es -1 dividido por el número de neuronas.

Si la red almacena varias "imágenes", se calcula que cada fuerza sináptica es el valor medio de las fuerzas de cada modelo. El número de modelos de actividad que pueden almacenarse simultáneamente en una red de Hopfield depende de su tamaño. A título orientativo puede decirse que la red debe incluir al menos un número de neuronas unas siete veces superior al de los modelos que ha de reconocer.

Si se han incorporado así a la red varios modelos de actividad, puede reconstruirse cada uno en cuanto se le proporcione una pequeña porción de cualquiera de ellos. Debe procederse como sigue: en primer lugar, a partir del fragmento incompleto, se calcula la actividad de cada neurona en el instante siguiente, originando así una nueva combinación de actividades neuronales que difiere algo de la anterior. En el paso ulterior, las neuronas de la red parten de esta muestra alterada y vuelven a calcular nuevos estados de actividad.

Paso a paso, la red va cambiando hasta llegar a una situación estable; las actividades ya no se alteran: el modelo queda almacenado. De esta manera, a partir de la muestra inicial se conforma la totalidad de la muestra almacenada: la red ha "reconocido" la muestra del mismo modo que nosotros recordamos el nombre y apellidos completos de una persona al oír tan sólo su nombre.

Lo mismo ocurre cuando a la red se le ofrece como punto de partida un modelo muy alterado. En este caso también se conforma poco después una "imagen" almacenada. Si la red se inicia con la actividad de un modelo al azar, se desarrolla el modelo almacenado que más semejanza guarda con él.

Las redes de Hopfield demuestran de qué modo las informaciones pueden introducirse en una red y luego recuperarse. Sin embargo, carecen de una propiedad fundamental de nuestro cerebro: la facultad de aprender por sí mismas a partir de los estímulos que reciben.

De las redes que sí lo logran nos ocuparemos en una próxima ocasión.

---

CHRISTIAN W. EURICH y STEFAN WILKE son físicos de formación. El primero trabaja en el Instituto de Neurofísica Teórica de la Universidad de Bremen, el segundo se dedica a la asesoría de empresas.

## LIBROS

# Filosofía científica. De Kant a Gödel

**DYNAMICS OF REASON. THE 1999 KANT LECTURES AT STANFORD UNIVERSITY**, por Michael Friedman. CSLI Publications; Stanford, 2001.

**LUDWIG WITTGENSTEIN. TRACTATUS LOGICO-PHILOSOPHICUS**. Dirigido por Wilhelm Vossenkuhl. Akademie Verlag; Berlín, 2001.

**REASON'S NEAREST KIN. PHILOSOPHIES OF ARITHMETIC FROM KANT TO CARNAP**, por Michael Potter. Oxford University Press; Oxford, 2000.

**GÖDEL MEETS EINSTEIN. TIME TRAVEL IN THE GÖDEL UNIVERSE**, por Pallo Yourgrau. Open Court; Chicago, 1999.

Desde el amanecer de la historia del pensamiento en las riberas del mar Jónico hasta muy avanzada la era moderna, ciencia y filosofía constituyeron una secuencia de razonamiento sin solución de continuidad. Ni Descartes ni Leibniz admitieron hiato alguno entre física, por ejemplo, y filosofía de la naturaleza. Sin embargo, el racionalismo que encarnan sitúa ya el centro de la reflexión en el proceso del conocer, desplazándolo del objeto conocido. Más aún, sostenían que todo conocimiento genuino del mundo era *a priori*. Distinguían, cierto es, entre filosofía natural, por un lado, y “metafísica” o “filosofía primera” por otro; aquella estudiaba la parte visible o corpórea del universo, ésta la parte invisible o

incorpórea (Dios y el alma). Mediante la articulación de la estructura de la parte invisible o incorpórea del universo, la metafísica aportaba un fundamento racional a la física. Pese al cambio de foco, persistía, pues, una línea de continuidad entre filosofía natural y filosofía primera.

A la tesis racionalista se opone el empirismo de Locke, Berkeley y Hume, quienes defendían que todo conocimiento depende, para su fundamentación, de una experiencia sensible, *a posteriori*. Si las verdades lógicas y matemáticas se convierten en ejemplo paradigmático del conocimiento *a priori*, el percibir la existencia de objetos físicos es prototipo de conocimiento *a posteriori*. A finales del siglo XVIII, Kant creaba un sistema que se proponía reconciliar racionalistas y empiristas. En su seno, la filosofía gozaba de un estatuto “trascendental”, que la distinguía de la ciencia empírica, incluida la psicología que hoy llamaríamos fisiológica. Al considerar la “lógica trascendental” — otra denominación de la “filosofía trascendental” — afirma que, en cuanto pura, carece de principios empíricos, pero, en cuanto investigación “trascendental”, no sólo se distingue de la ciencia empírica, sino también de los elementos del conocimiento *a priori* puro, como la geometría utilizada en física.

Cada una de estas ciencias de primer nivel (empíricas o *a priori*) tiene su propio objeto o ámbito de consideración característico. La filosofía, disciplina de segundo nivel, se ocupa de la naturaleza

y posibilidad de nuestras *representaciones* de tales objetos. Sin objeto propio, el ámbito distintivo de la filosofía es el *conocimiento* de los objetos de primer nivel. Esta distinción kantiana entre investigaciones científicas de primer nivel e investigación filosófica trascendental constituye en realidad la fuente de la diferenciación entre filosofía y ciencias vigente hoy en muchos círculos, cuya evolución recorre Michel Friedman en *Dynamics of Reason*.

Frente a Descartes y Leibniz, Kant mantiene la imposibilidad de conocer, por vía racional, lo incorpóreo (Dios y el alma). Los únicos objetos posibles de conocimiento son las “apariencias”, es decir, los objetos instalados en el tiempo y en el espacio que interaccionan entre sí de acuerdo con las leyes causales de la nueva ciencia natural matemática. Al renunciar a toda propuesta de lo suprasensible, y dirigir la atención hacia las condiciones necesarias que hacen posible el conocimiento científico natural, el único genuino, la filosofía abandona las disputas entre escuelas para entrar en el camino seguro de la ciencia. Podremos hablar entonces de filosofía científica.

Si los filósofos racionalistas habían sido agentes creadores y difusores del mecanicismo y del copernicanismo, en punto a la matematización de la ciencia no habían ido más allá de una voluntad programática. Con Newton se logró, a través de leyes dinámicas de la gravedad, la síntesis de la astronomía celeste con la física terrestre. Kant se propuso

explicar de qué modo la nueva física matemática, la física newtoniana, era en sí misma posible. Para él, los conceptos de espacio, tiempo, movimiento, acción y fuerza no operan para describir un reino metafísico de entidades que subyacen a los fenómenos. Ni son abstracciones simples a partir de nuestra experiencia, que podamos luego aplicar a los fenómenos porque las hayamos encontrado ahí antes. Tales conceptos de espacio, tiempo, movimiento, acción o fuerza son, por el contrario, formas *a priori*, constructos producidos por nosotros mismos y sobre cuya base exclusiva podemos ordenar coherentemente los fenómenos de la naturaleza en una totalidad espaciotemporal unificada y gobernada por leyes.

De ese modo, enseña Kant, la física newtoniana no es un mero esquema pragmático que ha conocido el éxito en la descripción y predicción de los fenómenos. Sirve de modelo para una comprensión racional coherente de la naturaleza, porque inyecta formas *a priori*, categorías dimanadas de nosotros mismos —que para Kant, expresan capacidades universales de la mente humana—, en nuestra experiencia de la naturaleza. Al ceñirse a la articulación de las condiciones necesarias de posibilidad de las ciencias naturales y matemáticas, la filosofía, aunque no sea ciencia en el mismo sentido que éstas, puede lograr resultados estables y, por tanto, llegar a ser científica.

La idea de una filosofía científica (o *wissenschaftliche Philosophie*) cobró cuerpo a mediados del siglo XIX, en reacción ante lo que se reputaba una desmesura especulativa del idealismo. En un célebre discurso pronunciado en Königsberg en 1855 con motivo de la dedicación de un monumento a Kant, Hermann von Helmholtz, profesor de fisiología, apelaba a la recuperación de la convergencia entre filósofos y científicos, rota con las lucubraciones fatuas de la *Naturphilosophie*. (Lo que no era cierto.) Ejemplificó la vuelta a la cooperación en la obra de Kant, quien realizó importantes contribuciones a la ciencia natural (su hipótesis de la nebulosa) y se mantuvo en permanente relación con las ciencias naturales. El mensaje de “vuelta a Kant” encerraba la sustitución de la metafísica por la epistemología (*Erkenntnistheorie*). En 1877 aparecía su principal órgano de expresión, la *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie*.

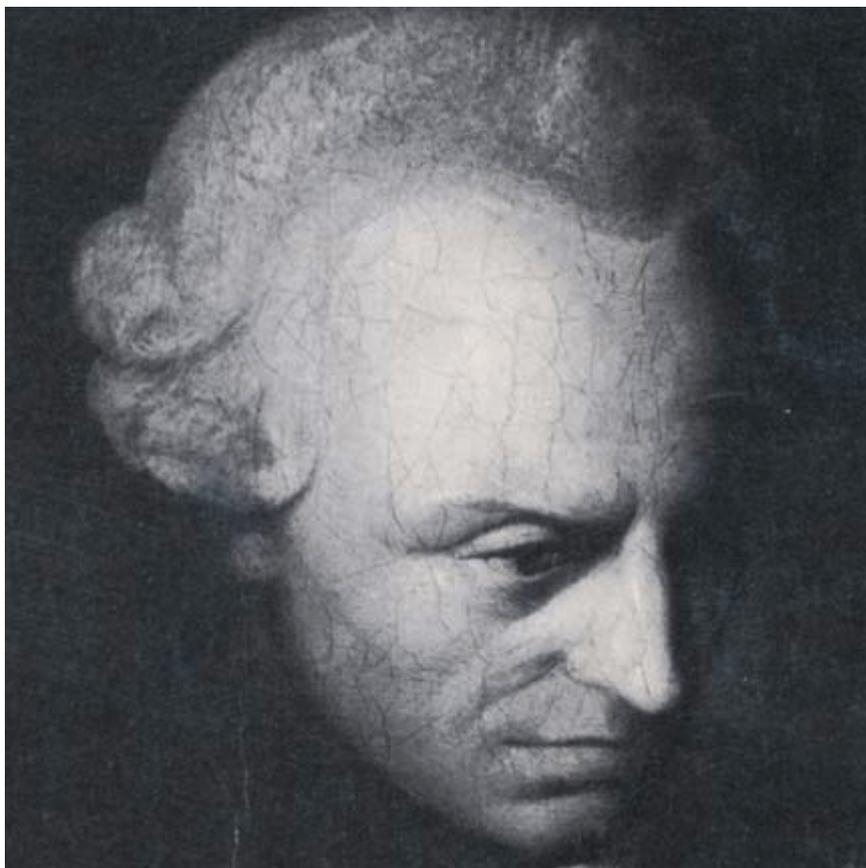
La síntesis filosófica de Kant fracasó ante los cambios revolucionarios que trajo consigo, entre otras, la geometría no euclídea. Pero también falló, en el

banco de pruebas de la nueva física del siglo XX, la revisión radical que los empiristas lógicos realizaron de dicha síntesis. (Friedman esboza un tercer intento de filosofía científica aunando los analíticos *a priori* de Carnap con el historicismo de Kuhn.) Tuvo ese movimiento una fecha señalada en 1921, centenario del nacimiento de Helmholtz. En el marco del homenaje que le rindió la Universidad de Berlín, Moritz Schlick pronunció el discurso “Helmholtz als Erkenntnistheoretiker”. Schlick, autor ya de una famosa exposición de la teoría de la relatividad (*Espacio y tiempo en la física contemporánea*), se había doctorado con Max Planck, pero pronto se dedicó a la filosofía. En el discurso conmemorativo, describe las relaciones que deben establecerse entre ciencia y filosofía. Para Schlick, la filosofía no es una ciencia independiente que debiera situarse junto a las demás o por encima de ellas (una metaciencia a la manera de Kant); lo filosófico impregna todas las ciencias. Compete a la filosofía abordar los fundamentos o principios últimos de todas y cada una de las ciencias. Por tales principios entiende los de la nueva física de Einstein (espacio, tiempo, causalidad).

No persistió mucho tiempo en ese empeño de hacer con la física de Einstein lo que Kant operara con la de Newton. En 1922 ocupó la cátedra de filosofía de las ciencias inductivas de la Universidad de Viena. Se convirtió en la figura impulsora del “Círculo de Viena”. Este grupo de positivistas lógicos se apropió de los progresos en lógica matemática debidos a Gottlob Frege y Bertrand Russell, conforme esos avances se articulaban en un breve opúsculo de Ludwig Wittgenstein, donde se leía: “la totalidad de las proposiciones verdaderas es la totalidad de las ciencias naturales”, “la filosofía no es ninguna de las ciencias naturales”, “la filosofía no es una doctrina sino una actividad” (*Ludwig Wittgenstein. Tractatus Logico-Philosophicus*).

Wittgenstein, nacido en Viena en 1889, había estudiado ingeniería eléctrica en Berlín, de donde pasó a especializarse en motores de aviones en Manchester, cuyo comportamiento le exigía ahondar en matemática; lo que le condujo al estudio de los fundamentos de ésta. Leyó así *The Principles of Mathematics*, de Russell, y se entusiasmó hasta el punto de abandonar el trabajo de Manchester para asistir en Cambridge a las clases que su autor impartía sobre lógica matemática.

Immanuel Kant. Oleo fechado en torno a 1790.



DRESDNER KUNSTHANDEL

tica. “Aprendió en seguida cuanto yo tenía que enseñarle”, comentaría más tarde éste. Llegó la primera guerra mundial y Wittgenstein sirvió en el ejército austríaco. En el macuto guardaba los cuadernos donde anotaba sus ideas sobre filosofía y lógica, que en 1921 aparecerían engarzados en su *Logisch-Philosophische Abhandlung (Tractatus Logico-Philosophicus)*, 1922).

La cuestión central del *Tractatus* es la posibilidad del lenguaje, es decir, en virtud de qué el empleo de una secuencia de frases dice algo que otra persona puede entender. La razón no es otra que la siguiente: una sentencia que dice algo (una proposición) tiene que ser “un cuadro de la realidad”. En la obra de cabecera, Peter M. Sullivan se extiende en la teoría del cuadro, a partir de la sentencia “Una proposición muestra su sentido, es decir, muestra una situación en el mundo” y glosa: el mostrar su sentido indica que expresa su sentido y no sólo lo identifica. Enmarca, asimismo, su interpretación en la prehistoria del *Tractatus*, en la carta que le escribió a Russell en 1912: “Creo que todos nuestros problemas pueden reducirse a proposiciones atómicas. Lo verá si intenta explicar de qué modo la cópula en una tal proposición tiene sen-

Ludwig Wittgenstein



tido”. De la nueva lógica matemática se desprende, según el *Tractatus*, que las únicas proposiciones significativas —proposiciones de las que puede afirmarse que son verdaderas o falsas— son las de las ciencias naturales. Todo lo que la filosofía puede hacer es analizar la forma lógica o la estructura lógica de las proposiciones de las ciencias especiales.

Si el Círculo de Viena quería realmente evitar la metafísica, debía, pues, abandonar la idea de que la filosofía fuera ciencia en cualquier sentido. En la concepción de Wittgenstein, la filosofía se reduce a mera *actividad* del análisis lógico. Frente a esta concepción acientífica de la filosofía del *Tractatus*, surge la figura de Rudolf Carnap, físico teórico de formación, que había estudiado con Max Wien en la Universidad de Jena, donde se familiarizó también con la filosofía. Las contribuciones originales de Carnap al Círculo de Viena atañían a la lógica matemática. En su *Sintaxis lógica del lenguaje*, de 1934, postulaba la extensión del método metamatemático de Hilbert desde la lógica a toda la filosofía. La filosofía científica se convertía así en *Wissenschaftslogik*: investigación metalógica de las estructuras y relaciones lógicas del lenguaje general de la ciencia. La investigación metalógica de la sintaxis lógica del lenguaje científico es, por sí misma, un sistema perfectamente preciso y riguroso de proposiciones lógico-matemáticas. La filosofía se convierte en una rama de la lógica matemática.

Cuando buena parte del pensamiento filosófico se diría dominado por la escuela analítica, llega una poderosa reivindicación de Kant (*Gödel Meets Einstein*). “Por lo menos en un punto, la teoría de la relatividad ha aportado una ilustración sorprendente, en cierto sentido incluso una verificación, de las doctrinas kantianas”, escribe Kurt Gödel. Se refiere al concepto de tiempo. El creador del teorema de incompletitud cifra en el tiempo *el* problema filosófico por antonomasia. Frente a quienes sostienen que las ciencias agotan cuanto puede saberse y ven en la metafísica una mera ilusión, no duda en calificar su filosofía de racionalista, idealista, teológica y optimista. Quería hacer con la metafísica lo que Newton hizo con la física. Pero, ¿cuáles fueron sus aportaciones a la física einsteiniana? Un nuevo modelo de cosmos, el llamado “universo de Gödel”. En él se conjugan platonismo matemático, tiempo “idealista” y mundos reales a partir de mundos posibles que permiten el viaje en el tiempo. Todo ello en el marco de las soluciones que aporta de las ecua-

ciones de campo de la relatividad general.

(A estas alturas, muy pocos cuestionarían que el teorema de incompletitud de Gödel para la lógica matemática se cuenta, junto con el principio de incertidumbre de Heisenberg y la teoría de la relatividad de Einstein, entre los grandes logros del saber contemporáneo. Esas tres piedras miliare de la ciencia constituyen al propio tiempo una fuente de inspiración filosófica. Aunque cada uno se establece por métodos formales, demuestran, en su dominio respectivo, una suerte de limitación de la ciencia formal. Heisenberg establece límites a nuestro conocimiento simultáneo de la posición y momento de las partículas elementales. Einstein demuestra lo propio con la velocidad de la luz y de cualquier información en el universo. Y Gödel pone límites a la capacidad de un sistema estrictamente formal, axiomático, para captar no sólo toda la verdad matemática, sino incluso la totalidad de las verdades de la aritmética.)

Traza una línea divisoria clara entre tiempo intuitivo y el componente temporal del espaciotiempo relativista. El segundo constituye para Gödel un mero simulacro relativista del primero. Por tiempo intuitivo entiende el tiempo kantiano, prerrelativista, una magnitud unidimensional que aporta un ordenamiento lineal completo de todos los acontecimientos que implican un cambio en el existir. El transcurso objetivo del tiempo significa que la realidad consta de una infinidad de capas de ahora, que existen sucesivamente. Cuando Gödel habla de la idealidad del tiempo se referirá a ese tiempo intuitivo, no a la variable temporal de la teoría de la relatividad. En la teoría de la relatividad el tiempo existe sólo en relación a un observador o en relación a un marco referencial.

En su argumentación sobre el tiempo, Gödel procede por etapas. 1) En la teoría especial de la relatividad (TER), la relatividad del ahora (tiempo intuitivo) con respecto a un marco inercial implica la relatividad de existencia; pero esto último es imposible; por consiguiente, si la TER es verdadera, *desaparece el tiempo* (intuitivo). 2) En la teoría general de la relatividad (TGR), donde la materia afecta a la curvatura del espaciotiempo, se ven privilegiados algunos marcos, en concreto aquellos cuyo movimiento sigue al movimiento medio de la materia. En nuestro mundo los marcos de referencia privilegiados pueden coordinarse para establecer un “tiempo cósmico” único, objetivo. *El tiempo reaparece*. 3) Gödel descubrió, sin embargo,

modelos de mundo para la TGR — los universos de Gödel o en rotación — en los cuales el *tiempo cósmico desaparece*. Además, en determinados universos de Gödel, existen líneas de mundo cerradas, que permiten el viaje a través del tiempo. Pero si alguien puede visitar el pasado, nunca dejó de existir. Por tanto, de nuevo, *el tiempo desaparece*. 4) Ahora bien, el universo de Gödel es un mundo posible solamente. ¿Qué decir del mundo real? A la manera que se diría anselmiana o leibniziana, pasa de lo posible a lo real: nuestro mundo y el universo en rotación difieren sólo en la distribución global de materia y movimiento. Los dos universos se describen por las mismas leyes fundamentales de la naturaleza y, en principio, aportan a los observadores las mismas experiencias temporales. Si el tiempo es una ilusión en un mundo, deberá serlo *a fortiori* también en el otro. En último análisis, pues, el *tiempo desaparece* incluso en el mundo real.

En la filosofía científica de Kant se subsume también la filosofía de la matemática, toda vez que funda la aritmética en la estructura espaciotemporal de la realidad. En el problema de la fundamentación se han venido acrisolando, en efecto, los distintos enfoques filosóficos: ¿depende la aritmética del mundo o es anterior a la consideración de éste? Atribuía ya Platón a la matemática una necesidad divina, pero no dejaba de ridiculizar a quien desconociera su carácter aplicado. En la sombra del de Königsberg sitúa Porter (*Reason's Nearest Kin*) el espectacular desarrollo de la matemática y su reflexión filosófica que va desde los *Grundlagen* de Frege, publicados en 1884, hasta la *Logische Syntax der Sprache* de Carnap, medio siglo posterior, arriba mencionada.

La aritmética no se basa en la experiencia —sería hacerla ciencia empírica— sino que constituye un aspecto de la forma en que experimentamos el mundo. Para Kant, lo acabamos de decir, se trataba de una estructura espaciotemporal; para Hilbert, la estructura de las disposiciones finitas de objetos. Para ambos, podemos aplicar la aritmética al mundo porque la hemos fundado en un aspecto de la forma en que el mundo se nos aparece. Por lo que concierne a las propiedades de los números, Kant pensaba que la aritmética, a diferencia de la geometría, no necesitaba axiomas. Bastaba con derivar directamente de las igualdades. Hilbert no recusaba una versión restringida de la inducción.

Frege, por su parte, sostenía que lo que funda la aritmética no es un rasgo de la



Gödel y Einstein en Princeton

forma en que experimentamos el mundo, sino de la forma en que pensamos. Nos servimos del lenguaje para comunicar nuestros pensamientos a los demás; por tanto, nuestros pensamientos no pueden ser entidades mentales privadas, sino que deben estar disponibles para la comunicación. El contenido de la aritmética son estos pensamientos que se comparten. La aritmética es, por tanto, aplicable a todo cosa pensable porque su estructura es ya la del pensamiento. Puesto que la lógica es el estudio de las leyes del pensamiento, la aritmética formará parte de la lógica.

Russell reducía la aritmética también a la lógica, pero no consideró su contenido como un dominio de pensamientos disponibles para todos. El mundo, tal como él lo veía, presenta una vertiente lógica, objeto de la lógica, igual que tiene una vertiente física, objeto de la

física. Llevó la analogía hasta el extremo de asimilar la epistemología de la lógica a la de la física. Su discípulo Wittgenstein ofrecía en el *Tractatus* la aritmética como un subproducto del lenguaje, una mera representación notacional del mismo. Carnap señala que, aunque los números pertenecen a la parte lógica del vocabulario, el cuantificador universal que abarca los números naturales es descriptivo. Con otras palabras, por lo menos algunas de las propiedades de los números son empíricas, aun cuando los números no lo sean.

Otros problemas, y otros enfoques, tiene abiertos la filosofía científica. En particular los relacionados con la biología, sobre los cuales filósofos y científicos no han dejado de pronunciarse en los últimos siglos y de los que nos ocuparemos en próxima ocasión.

LUIS ALONSO

## ENSAYO FILOSÓFICO

# Lógos y Theoría

Emilio Lledó

Ya hemos leído muchas veces aquella, digamos, ocurrencia de A. N. Whitehead en *Process and Reality* de que la filosofía europea no era sino notas a pie de página de los *Diálogos* de Platón. Una exageración, sin duda, pero que planteaba un problema esencial en la historia de la filosofía y de la ciencia. Efectivamente, por esa singularidad y originalidad —al menos en lo que llamamos cultura occidental— de la no-existencia de una terminología filosófica heredada, vemos emerger en la obra de Platón esa terminología, brotando de la misma sustancia del lenguaje natural. La genialidad de Aristóteles habría de ampliar y precisar esos primeros pasos para establecer un universo especulativo, hecho de palabras, donde acogerse la mente humana.

Dos términos que tienen que ver con la función de la inteligencia son *lógos* y *theoría*. Por supuesto hay otros muchos que describen el funcionamiento de la mente y su tensión por entender e interpretar el mundo. Es apasionante investigarlos y descubrir cómo el lenguaje abstracto se encarnaba en la realidad de las cosas, en la realidad del cuerpo que pretendía conocerlas.

El término *lógos* fue, tal vez, el más importante en esta empresa del conocimiento. *Lógos* tenía que ver con la manifestación del pensamiento, con su formulación como palabra; pero también esa formulación necesitaba ser *semantiké*, llena de sentido, de coherencia, de racionalidad. El *lógos* no consistía sólo en “decir” sino, al mismo tiempo, en racionalizar lo dicho, en argumentar. Un proceso que implicaba una lucha por la verdad de lo dicho, y donde se ponía en juego la existencia de cada pensamiento individual. El lenguaje como manifestación del pensamiento fue, por ello, algo más que un medio de comunicación. El lenguaje fue, sobre

todo, la propia sustancia, el propio “ser” del pensamiento.

Por eso el *lógos* tenía que ser siempre compartido, “dialogado”, contrastado con ese inmenso magma de *doxai*, de opiniones que, con fundamento o sin él, constituía el fondo de cada mente y forjaba la estructura de cada personalidad. La lucha por la racionalidad fue un continuado esfuerzo contra ese inexplorado territorio que, a través de la *empeiria*, de la experiencia, podía haberse establecido sin criterio en el espacio que habita nuestra capacidad de pensar. Un espacio que se veía frecuentemente empedrado por todas las falsedades, por todos los “grumos” ideológicos que determinados intereses de la *Polis* habían introducido en la inteligencia individual.

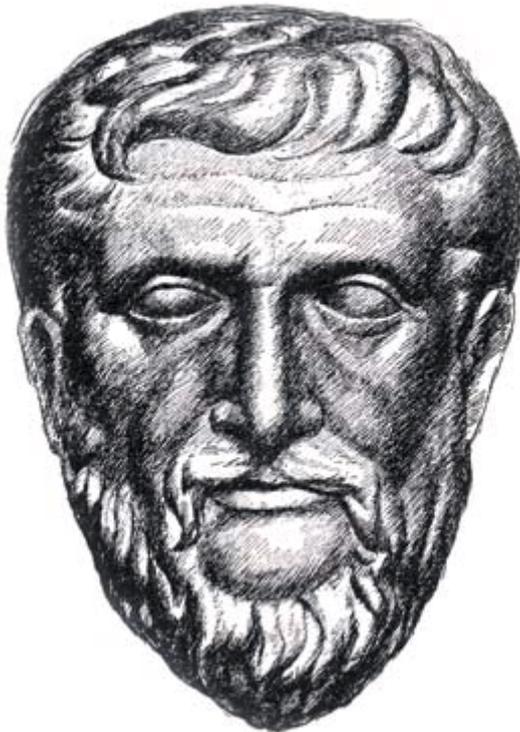
El otro término, *theoría*, estuvo también atado a la realidad de nuestro cuerpo. De la misma manera que *legein*, “decir”, era, esencialmente, emitir sonidos “a través del cerco de los dientes”, que lleva-

sen un “aire semántico” —*phoné semantiké*—, teoría significó, antes que nada, “mirar”, ver con los ojos del cuerpo. No es extraño, pues, que una palabra, al parecer tan abstracta como “idea” (*eidos*, *idéa*), significase, al principio, “lo que se ve”. Etimológicamente los términos griegos *eidos* e *idéa* se escribieron con una “digamma” inicial, equivalente a la “uve” latina que encontramos en el verbo *videre* que tiene la misma etimología que *idea*.

De esta visión concreta e inmediata del mundo —como todos los otros términos del vocabulario filosófico y científico griego—, la palabra “teoría” alzó el vuelo hasta el universo especulativo en el que hoy se encuentra. Una mirada con la que, como se dice en la *Republica* (486a), “el pensamiento y la teoría alcanzan la visión de todo tiempo y de toda sustancia”.

El fluido que corre tras “el hueso de nuestra frente” tiene la forma de diálogo: “el pensamiento es un *logos* que la mente, ella misma, hace pasar ante sí misma” (*Teeteto*, 189e). No es, pues, extraño que el diálogo y la teoría fuesen elementos de esa reflexión —una metáfora visual, por cierto—, en la que se sustenta el pensar, y que lo especulativo fuese también metáfora de ese inmenso espejo de las palabras, en las que se “veía” el territorio de la búsqueda racionalidad.

No perder de vista este engarce de lo ideal y lo corporal es un saludable presupuesto, para el progreso del pensamiento; un saludable principio metodológico. “Método” (*méthodos*), palabra de tanto abolengo científico, no significó otra cosa, para los griegos, que “estar en camino”. Estar en medio del camino, y mirar, y buscar.



---

EMILIO LLEDO, maestro de varias generaciones de estudiantes de filosofía en distintas universidades, nacionales y extranjeras, es miembro de la Real Academia Española.

